మెదడు లోని మర్మం - 1

మెదడు చరిత్ర

వి. శ్రీనివాస చక్రవర్తి



మనిషి మెదడు తన గురించి తాను ఏమనుకుంటుంది? దాని గురించి దానికి ఎలాంటి అభిప్రాయం వుంది, ఎలాంటి అవగాహన వుంది? ఈ ప్రశ్నలకి సమాధానాలు శోధిస్తూ పోతే చాలా ఆసక్తికరమైన కథ అవుతుంది. మనస్సుకి, బుద్ధికి, ప్రజ్ఞకి ఉపాధి, ఆధారం మెదడు అని మనకి ఇప్పుడు తెలుసు గాని రెండు సహస్రాబ్దాల క్రితం ఆ విషయంలో సరైన అవగాహన ఉండేది కాదు. అలాంటి అవసాన దశ నుండి ప్రారంభమైన నాడీ శాస్త్రం (neuroscience), నేడు జీన్ థెరపీలు అయితేనేమి, డీప్ బ్రెయిన్ స్టిములేషన్ లు అయితే నేమి, ఎన్నో కొత్త ఒరవళ్లు చోటు చేసుకుంటూ, గుర్తుపట్టరానంతగా పురోగమించింది. మెదడు చరిత్ర అంటే మెదడును గురించిన మన భావాలలోని దోషాల చరిత్రే! అసలు ఏ వైజ్ఞానిక రంగంలోనైనా చరిత్ర అంటే ఇలాగే ఉంటుంది. కొత్త ప్రయోగాలు చెప్పే సాక్ష్యం ఆధారంగా పాత సిద్ధాంతాలలోని తప్పులు దిద్దుకుంటూ విజ్ఞానం పురోగమిస్తుంది మరి. నాడీ శాస్త్రంలో ఎన్ని తప్పులు సవరించినా, ఎంత పురోగతి సాధించినా, కొన్ని ప్రశ్నలు మాత్రం కొరకరాని కొయ్యలుగానే మిగిలిపోతున్నాయి. అలాంటి ప్రశ్నలలో ‘చైతన్యం అంటే ఏంటి? మనస్సు అంటే ఏంటి?” ముఖ్యమైనవి. ఈ లోతైన ప్రశ్నల జోలికి పోకుండా ప్రస్తుతానికి మాత్రం మెదడు చరిత్రలో కొన్ని ముఖ్యమైన ఘట్టాల గురించి చెప్పుకుందాం.

మన మెదడు చరిత్ర కథ పాశ్చాత్య వైద్య సాంప్రదాయానికి మూలవిరాట్టు అని చెప్పుకోదగ్గ ప్రాచీన గ్రీకు వైద్యుడు హిపోక్రెటీస్ (460-379 B.C.) తో మొదలుపెడదాం. ప్రస్తుత కాలంలో మనం అనుకున్నట్టే హిపోక్రెటీస్ కూడా ఇంద్రియాల వ్యవహారాలకి, మనస్సుకి, బుద్ధికి మెదడే ఉపాధి అని నమ్మాడు. ప్రాచీన గ్రీకు తాత్వికుడు ప్లేటో, ప్రజాస్వామ్యం గురించి, ఆదర్శ సమాజం గురించి కలలు గన్న మేధావి, కూడా మెదడు గురించి ఇంచుమించు అదే విధంగా ఆలోచించాడు. కాని ప్లేటో శిష్యరత్నం అయిన అరిస్టాటిల్ భావాలు మాత్రం ఈ విషయంలో కాస్త భిన్నంగా వున్నాయి.

అరిస్టాటిల్ భౌతిక ప్రపంచంలో ఎన్నో అంశాల మీదకి తన చింతనని సారించాడు. ప్రతీ దానికి ఏదో వివరణ ఇచ్చేవాడు. ఎన్నో సందర్భాలలో ఆ వివరణ తప్పని (ఒకటిన్నర సహస్రాబ్దాల తర్వాత) తేలింది. కాని ఆ రోజుల్లో మాత్రం అరిస్టాటిల్ తప్పని చెప్పడానికి గాని, నిరూపించి తేల్చిచెప్పడానికి ఎవరికీ ధైర్యం చాల్లేదు.

(ఉదాహరణకి తోకచుక్కలు అంటే ఏంటి అన్న ప్రశ్నకి సమాధానంగా అరిస్టాటిల్ అవి గాల్లో మండుతున్న వాయువుల వల్ల పుట్టే కాంతులు అని చాటాడు. తోకచుక్కలు మన భూమి చుట్టూ ఉండే వాయుమండలానికి పరిమితమైనవి కావని, అంతరిక్షంలో ఎంతో దూరం నుండి కొట్టుకొచ్చే రాతి శకలాలని ప్రస్తుతం మనకి తెలుసు.) అరిస్టాటిల్ తన విడ్డూరపు చింతనని మెదడు మీదకి కూడా సారించాడు. మనస్సుకి, చైతన్యానికి ఉపాధి మెదడు కాదని, గుండె అని బోధించాడు. ఒక విధంగా శరీరంలో ప్రాణం నిలవడానికి మెదడు కన్నా గుండే ముఖ్యం అన్నది నిజమే. కాని మన ఆలోచనలకి, అనుభూతికి ఆధారం మెదడే. బహుశ గుండె యొక్క ప్రాముఖ్యతని పురస్కరించుకుని అరిస్టాటిల్ అలా భావించి వుండవచ్చు.



ప్లేటో – అరిస్టాటిల్

ఆ విధంగా మెదడు గురించి ప్రాచీన గ్రీకు తాత్వికులు తమ మెదడుకి తోచిన వ్యాఖ్యానాలు చేస్తూ రావడంతో పరిస్థితి కాస్త గందరగోళంగా ఉండేది. అలాంటి పరిస్థితిలో మెదడు రంగంలోకి కాస్త స్పష్టత తెచ్చిన వాడు గాలెన్. ఇతగాడు కూడా ప్రాచీన్ గ్రీకు దేశానికి చెందిన వాడే. కాని ఇతడు తాత్వికుడు కాడు – వైద్యుడు! తాత్వికులకి, వైద్యులకి ఓ ముఖ్యమైన తేడా వుంది. తాత్వికులు తమ ఊహాశక్తిని బట్టి, ధీశక్తిని బట్టి విషయాల గురించి వ్యాఖ్యానిస్తూ పోతుంటారు. అది నిజమా కాదా అన్న విషయం బాహ్య ప్రపంచం చెప్పే సాక్ష్యం మీద కాక, తర్కమీమాంసల మీద ఆధారపడి వుంటుంది. అలా కాకుండా తన సిద్ధాంతాలని వాస్తవం

సమర్థిస్తోందని నిరూపించే బాధ్యత వైద్యుడి మీద ఉంటుంది. అందుకనే కాబోలు మెదడు యొక్క నిర్మాణం విషయంలో గాలెన్ ఎంతో ప్రగతి సాధించాడు.

గాలెన్ కాలంలో వైద్య రంగంలో విధివిధానాలు అన్నీ కకావికలంగా ఉండేవి. వైద్య వృత్తిని శాసిస్తూ పెద్దగా శాస్త్రీయ ప్రమాణాలేవీ ఉండేవి కావు. చాలా మటుకు హిపోక్రాటిక్ సాంప్రదాయాన్నే గుడ్డిగా అనుసరించేవారు. ఈ రోజుల్లో "హోలిస్టిక్ క్లినిక్" లలో చేసినట్టుగా సంగీతంతో రోగనివారణ చేసే కార్యక్రమాలు చేపట్టేవారు కొందరు. మరి కొంత మంది ఛూం మంత్రకాళీ అంటూ మంత్రాలు విసిరి రోగాన్ని మాయం చెయ్యబూనేవారు. ఆ రోజుల్లో మానవ కళేబరాలని వైద్య బోధనలో వాడే విషయంలో మతం విధించిన నిషేధం ఉండేది. ఆ కారణం చేత వైద్య పరిశోధన కుంటినడక నడిచింది. ఇక గత్యంతరం లేక గాలెన్ వంటి వాళ్లు జంతు కళేబరాలని పరిచ్ఛేదించి, పరీక్షించి ఆ పరిశీలనలని మానవ శరీరాలకి ఆపాదించేవాళ్లు. జంతుపరిచ్ఛేదంలో ఆరితేరినవాడు గాలెన్. తన అనుభవాన్ని పొందుపరుస్తూ విస్తృతంగా రాశాడు. ఆ విధంగా 'శరీర నిర్మాణ శాస్త్రం' (anatomy) కి పునాదులు వేశాడనే చెప్పాలి.



ప్రాచీన గ్రీకు వైద్యుడు గాలెన్

ఉదాహరణకి "మెదడు గురించి" (On the brain) అనే రచనలో మెదడుని ఎలా సిద్ధం చెయ్యాలి, ఎలా పరిచ్ఛేదించాలి అన్న విషయాన్ని విపులంగా ఇలా వర్ణించాడు –

"ఆ విధంగా సరైన విధానాన్ని అనుసరించి మెదడుని సిద్ధం చేస్తే ముందుగా డ్యురా మేటర్ కనిపిస్తుంది... మధ్యరేఖకి రెండు వైపులా నిలువుగా పరిచ్ఛేదాలు చేసి వెంట్రికిల్స్ (ventricles) వరకు పోవాలి... అప్పుడు ఎడమ వెంట్రికిల్ ని కుడి వెంట్రికిల్ తో వేరు చేసే పొర (septum) ని పరీక్షించే ప్రయత్నం చెయ్యాలి... ఆ విధంగా ఇంతవరకు చర్చించిన మెదడు విభాగాలన్నిటికి బట్టబయలు చేశాక ముందరివైపున (anterior) వున్న రెండు వెంట్రికిల్స్ మధ్యన వున్న మూడో వెంట్రికిల్ కనిపిస్తుంది. దాని అడుగున నాలుగో వెంట్రికిల్ కూడా కనిపిస్తుంది..."

ఈ విధంగా శరీరనిర్మాణ శాస్త్రంలో కూలంకషంగా అధ్యయనాలు చేశాడు కనుకనే అతడికి "శరీరనిర్మాణ శాస్త్రానికి మళ్లీ ఊపిరి పోసిన వాడు" అన్న పేరు దక్కింది. తన అధ్యయనాల సహాయంతో గాలెన్ మెదడు గురించి ఎంతో తెలుసుకున్నాడు. పైన ఇవ్వబడ్డ అంశం ప్రకారం గాలెన్ కి మెదడు లోపలి ఖాళీ ప్రాంతాలైన వెంట్రికిల్స్ గురించి, మెదడు యొక్క పై పొరలైన డ్యురా మరియు పయా మేటర్ గురించి, మెదడు యొక్క రెండు అర్ధగోళాల (cerebral hemispheres) గురించి తెలుసని అర్థమవుతోంది. గుండె, ఊపిరితిత్తులు మొదలైన అంతరంగ అవయవాలని శాసించే స్వయంచాలక నాడులు (autonomous nerves) గురించి అతడికి తెలుసని అతడి రచనల వల్ల అర్థమవుతోంది. అలాగే స్వర పేటికని ప్రేరించి శబ్దాన్ని పుట్టించే నాడుల గురించి కూడా అతడికి తెలుసు. (ఈ నాడులని తెంచినప్పుడు మొరిగే కుక్కలలో గాని, మెమ్మే అనే మేకలలో గాని వెంటనే నోరు పడిపోవడం ప్రదర్శించాడు గాలెన్.)

ఆ విధంగా మెదడు యొక్క నిర్మాణం గురించి ఎంతో తెలుసుకున్నా, మెదడు యొక్క క్రియల గురించి మాత్రం అతడు పప్పులో కాలేశాడనే చెప్పాలి. మెదడుయొక్క నిర్మాణాన్ని సూక్ష్మస్థాయిలో అధ్యయం చెయ్యడానికి కావలసిన సాంకేతిక నైపుణ్యం మరి గాలెన్ కాలానికి ఒకటిన్నర సహస్రాబ్దాల తరువాత వచ్చింది. కనుక మెదడు క్రియల విషయానికి వచ్చేసరికి ఏవో ఊహాగానాలు చేశాడే గాని కచ్చితమైన

జ్ఞానాన్ని సాధించలేకపోయాడు. తన పూర్వీకులైన ఎరాసిస్ట్రాసస్ (Erasistrasus) మొదలైన పండితుల లాగానే గాలెన్ కూడా శరీరంలో ఏవో చిత్రమైన "వాయువులు" (pneumata) ఉంటాయని భావించాడు. ఈ వాయువులు లేదా "ప్రాణాలు" నాళాల్లాంటి నాడుల ద్వార ప్రవహిస్తూ కదలికని కలుగజేస్తాయి. కదలిక లేని స్థితిలో, అంటే ఈ "ప్రాణాలు" పనీ పాటా లేకుండా ఉన్న స్థితిలో, మెదడులో వెంట్రికిల్స్ లో తిష్ఠ వేసి వుంటాయని ఊహించాడు గాలెన్! కనుక ఈ వెంట్రికిల్స్ మాత్రమే, ఆ ఖాళీ ప్రదేశాలే మనలోని "బుద్ధికి", "వివేచన"కి ఉపాధి అని నిర్ణయించాడు గాలెన్.

ఒక్క గాలెన్ మాత్రమే కాదు, విడ్డూరం ఏంటంటే తన తరువాత ఒకటిన్నర సహస్రాబ్దాల కాలం పాటు కూడా ఎంతో మంది నిపుణులు మెదడు క్రియల విషయానికి వచ్చేసరికి సరిగ్గా అదే పప్పులో కాలేశారని చరిత్ర మనకి చెప్తోంది. మరి ఎందుచేతనో మెదడు యొక్క భౌతిక నిర్మాణానికి చెందిన జ్ఞానానికి, మెదడు యొక్క క్రియలకి చెందిన జ్ఞానానికి మధ్య చెప్పలేనంత వారడి ఉంటూ వచ్చింది. గాలెన్ తరువాత అదే సాంప్రదాయంలో పని చేసిన లియొనార్డో డా వించీ, వెసేలియస్ (Vesalius) మొదలుకుని ఎందరో శరీరనిర్మాణ శాస్త్రవేత్తలు (anatomists) మెదడు గురించి గొప్ప అధ్యయనాలు చేశారు. వీళ్లంతా మెదడు నిర్మాణం విషయంలో తమ పూర్వీకులు కనుక్కున్న విషయాలని నిర్ధారించడమే కాక ఎన్నో కొత్త విషయాలు కూడా కనుక్కున్నారు. కాని మెదడు క్రియల విషయంలో మాత్రం "వాయువులు", "ప్రాణశక్తులు" మొదలైన నిరాధారిత భావాలన్నీ ఎంతో కాలం చలామణిలో ఉంటూ వచ్చాయి. ఒక విధంగా చెప్పాలంటే మెదడు నిర్మాణం విషయంలో మన అవగాహనకి, మెదడు క్రియల విషయంలో మన అవగాహనికి మధ్య ఉన్న తేడా ఇప్పటికి కూడా ఉందనే చెప్పాలి. కనీసం రెండు వేల ఏళ్ల పరిశోధనా చరిత్ర ఉన్న రంగంలో మెదడు క్రియలని కచ్చితంగా, సముచితంగా వర్ణించడానికి కావలసిన పరిభాష, భావ జాలం అన్నీ గత శతబ్దపు రెండవ భాగంలో మాత్రమే సమకూరాయి. ఈ నూతన భావాలు ఇప్పటికీ ఎక్కువగా పరిశోధనా స్థాయిలోనే వుండిపోయాయి గాని వైద్య ఆచరణ మీదకి ఈ భావాల ప్రభావం ఇంకా ప్రసరించలేదు.

<u>లియొనార్డో డా వించీ:</u> మహాకళాకారుడు, మోనాలీసా చిత్రానికి కర్త అయిన లియొనార్డో లో సామాన్యంగా అందరికీ తెలీని మరో పార్శ్వం కూడా వుంది. ఆయన గొప్ప శాస్త్రవేత్త కూడా. మానవాకృతికి చెందిన చిత్రాలు వెయ్యడానికి మనుషులని నమూనాలుగా చిత్రకారులు వాడుకోవడం అనేది పరిపాటి. కాని లియొనార్డో మానవాకారాన్ని మరింత క్షుణ్ణంగా అధ్యయనం చెయ్యాలనే లక్ష్యంతో మానవ కళేబరాల మీద అధ్యయనాలు

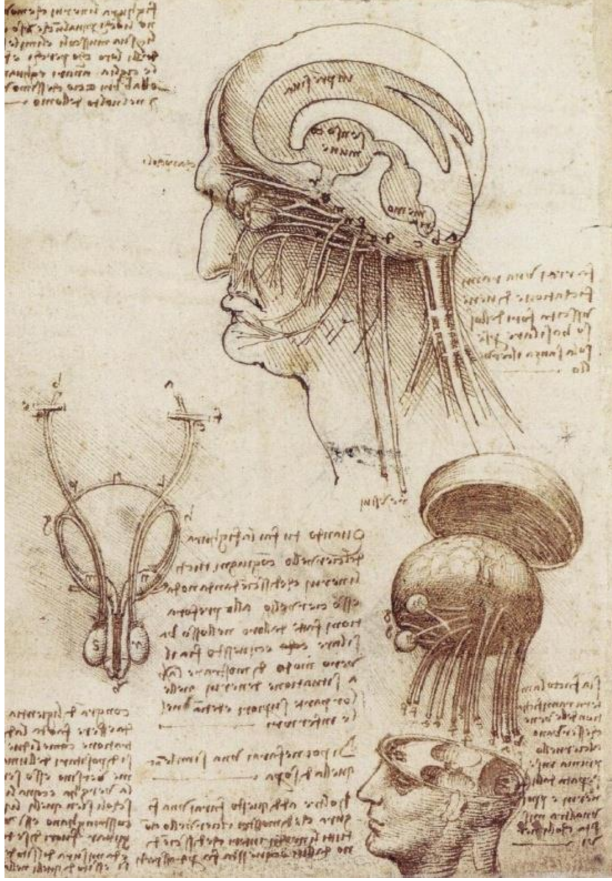
ప్రారంభించాడు. (ఉరి తీయబడ్డ నిందితుల కళేబరాలని కొనుక్కొచ్చి రాత్రికి రాత్రి రహస్యంగా తన స్టూడియోకి తరలించేవాడట!) మానవ శరీరాలని పైపైన చూసి బొమ్మలు వెయ్యకుండా ఆ శరీరాలని పరిచ్ఛేదించి లోపలి అంగాంగ విన్యాసాన్ని నిశితంగా అధ్యయనం చేసేవాడు. ఈ అధ్యయనాల వల్ల మెదడు నిర్మాణం గురించి ఎంతో పరిజ్ఞానాన్ని సాధించాడు లియొనార్డో.



లియొనార్డో డా వించీ

మెదడును పరిచ్ఛేదించడం అంటే ఉల్లిపాయ యొక్క పొరలు ఒక్కటొక్కటిగా తొలగించడం లాంటిదే అంటాడు లియొనార్డో. ముందుగా పైనున్న జుట్టు తొలగించాలి. తరువాత అడుగున ఉన్న చర్మం, ఆ తరువాత సన్నని మాంసపు పొర... ఆ తరువాత కపాలపు గోడని భేదించాలి. అడుగున్న మెదడును కప్పి వుంచే డ్యురా మరియు పయా మేటర్ లని తీసేయాలి. ఇవీ మెదడు యొక్క "ఉల్లిపాయ పొరలు" అంటాడు లియొనార్డో. తన పూర్వీకులు లాగానే లియొనార్డోకి కూడా వెంట్రికిల్స్ కి సంబంధించిన జ్ఞానం ఉండేది. వారి లాగానే ఈ కళాకారుడు కూడా వెంట్రికిల్స్ లో ప్రతిభ, బుద్ధి మొదలైన లక్షణాలు నాటుకుని వున్నాయని అపోహ పడ్డాడు. ముఖ్యంగా మూడవ వెంట్రికిల్ లో వివిధ ఇంద్రియాలకి (చూపు, వినికిడి, స్పర్శ మొ॥) సంబంధించిన సమాచారం అంతా ఒక దగ్గరికి చేరుతుందని తప్పుగా భావించాడు. ఏవో కనిపించని "ప్రాణశక్తుల" ప్రభావం వల్ల కాళ్లు చేతులు ఆడుతాయని భావించాడు. ఆ విధంగా మెదడు నిర్మాణానికి సంబంధించిన అవగాహనలోను, క్రియలకి సంబంధించిన అవగాహన లోను తన పూర్వీకుల విషయంలో

ఉన్న వ్యత్యాసం లియొనార్డో లోనూ కనిపిస్తుంది. ఆ వ్యత్యాసం ఆ తర్వాత ఎంతో కాలం మిగిలి ఉండడం ఆశ్చర్యం.



లియొనార్డో చేసిన మెదడు అధ్యయనాలు

రేనే దే కార్త్ (Rene Descartes): చిన్నప్పుడు బళ్లో అనలిటికల్ జ్యామెట్రీ (analytical geometry) అనే ఓ గణిత విశేషం గురించి అందరం చదువునే వుంటాం. జ్యామెట్రీకి ఆల్జీబ్రానిచ్చి పెళ్లి చేస్తే పుట్టిన ప్రత్యేక రంగం ఇది. దీనికి కర్త రేనే దేకార్త్ అనే ఫ్రెంచి తాత్వికుడు, గణితవేత్త. నాడీవిజ్ఞాన చరిత్రలో దే కార్త్ ఓ ముఖ్యమైన

మలుపుకి సంకేతం. తత్వశాస్త్రంలో, ముఖ్యంగా పారభౌతిక శాస్త్రంలో (metaphysics) లో ముఖ్యమైన సమస్య వుంది. దీన్నే 'మనస్సు-శరీరం' సమస్య (mind-body problem) అంటారు. మనసుకి, శరీరానికి సంబంధం ఏంటి? మనసు శరీరాన్ని ఎలా శాసిస్తుంది? శరీరానికి మనసు మీద ఎలాంటి ప్రభావం ఉంటుంది? ఈ ప్రశ్నలు పైపైన చూస్తే సర్వసామాన్యంగా ఉంటాయి గాని కాస్త శ్రద్ధగా పరిశీలిస్తే అంత సులభంగా తేలవు. అసలు ఉందో లేదో కూడా తెలీని మనస్సు అనే తత్వానికి, (ఉన్నా అది ఏంటి, దాని పదార్థం ఏంటి, అది భౌతికమా, అభౌతికమా?) భౌతిక పదార్థంతో చేయబడ్డ శరీరానికి మధ్య సంబంధం ఏంటి? అసలు సంబంధం ఎలా ఉండగలదు? మొదలైన ప్రశ్నలకి సంబంధించిన సమస్యే 'మనస్సు-శరీరం సమస్య' (mind-body problem). డేకార్త్ ఈ చిక్కుముడిని ఓ విచిత్రమైన రీతిలో విప్పాడు. విప్పాడు అనడం కన్నా ఆ ముడిని తెంచి అవతల పారేశాడు అనడం సబబేమో. నాడీవిజ్ఞాన చరిత్రలో మెదడు యొక్క నిర్మాణం గురించి ఎంతో క్షుణ్ణమైన అవగాహన ఉన్నా, దాని క్రియల విషయానికి వచ్చేసరికి విశృంఖల ఊహాగానం తప్ప పెద్దగా మరేమీ లేదని ఇప్పటికే మనం గుర్తించాం. ఈ సమస్యని డేకార్త్ ఈ రాకంగా తేల్చాడు.



రేనే దే కార్త్

అసలు మనస్సు, శరీరం పూర్తిగా భిన్నమైన తత్వాలన్నాడు. మనస్సు, దేహం రెండూ వేరు వేరు ప్రపంచాలకి చెందినవని, రెండిటినీ వేరు వేరు నియమాలు పాలిస్తున్నాయని వచించాడు. మనకి సుపరిచితమైన భౌతిక ధర్మాలని అనుసరించి శరీరం పని చేస్తుంది. కాని మనస్సు మాత్రం శరీరంతో సంబంధం లేని, విస్తృతి గాని, చలనం గాని లేని ఓ అభౌతిక తత్వం. అయితే ఈ రెండూ ఒక దాని మీద ఒకటి ప్రభావం చూపించుకోగలవు. మనస్సు గురించి ఈ రకమైన దృకథాన్ని 'ద్వైతం' (dualism) అంటారు. (భారతీయ తత్వశాస్త్రంలోని ద్వైతానికి దీనికి పెద్దగా సంబంధం లేదు.) అంటే మనస్సు, శరీరం వేరు వేరుగా ఉన్నాయన్న భావన. (దీనికి భిన్నంగా ఓ 'అద్వైతం' కూడా వుంది. ఆ దృక్పథం ప్రకారం అసలు మనస్సు అనేది శరీరానికి వేరుగా లేదు. శరీరంలో, ముఖ్యంగా మెదడులోని న్యూరాన్లలో కలిగే విద్యుత్ చలనాలని మనం 'మనస్సు' అని పిలుచుకుంటాం. ద్వైతం, అద్వైతం - రెంటిలో ఏది నిజం అన్న ప్రశ్నకి ఇప్పటికీ కచ్చితమైన సమాధానం లేదు.) నాడీ విజ్ఞాన శాస్త్రంలో ఈ రకమైన 'ద్వైతాన్ని' బల్ల గుద్ది, కుండ బద్దలు కొట్టి ప్రవేశపెట్టిన వాడు దేకార్త్.

అయితే ద్వైతం వల్ల 'మనస్సు-శరీరం సమస్య' తేలలేదు. కాని మనస్సు, శరీరం వేరు అన్న నమ్మకం బలపడ్డ తరువాత జనం మనస్సు గురించి మర్చిపోయి మెదడు మీద దృష్టి సారించారు. మెదడుని, నాడీ మండలాన్ని తమకి తెలిసిన భౌతిక శాస్త్ర పద్ధతులతో లోతుగా అధ్యయనం చెయ్యడం మొదలెట్టారు. దాంతో నాడీవిజ్ఞానం మునుపటి కట్టడి పోయి, కట్టలు తెంచుకుని ముందుకురికింది. మావిడి పండు లోని టెంకని తీసేసి తీయని గుజ్జుని హాయిగా ఆనందించినట్టు, శరీరానికి చెందిన 'ఆత్మ', 'మనస్సు' మొదలైన ఇబ్బందికరమైన అంశాలని ముందస్తుగా అవతల పారేసి, ఇక మిగిలిన శరీరాన్ని మాత్రం ఓ 'యంత్రం'లా పరిగణిస్తూ భౌతిక శాస్త్ర విధానాలతో విశ్లేషించడానికి వీలయ్యింది. ఇక్కడే నాడీ విజ్ఞానం యొక్క పురోగమన పథంలో మనకొక విడ్డూరం, ఓ వైపరీత్యం కనిపిస్తుంది. ఏ రంగంలోనైనా ఆ రంగానికి చెందిన అత్యంత కీలకమైన సమస్యలని, అతి ముఖ్యమైన ప్రశ్నలని ('మనస్సు అంటే ఏంటి?' 'చైతన్యం అంటే ఏంటి?' 'ఆత్మ అనేది వుందా?' మొ॥) వీలుగా పక్కనబెట్టేసి, కాస్త సులభమైన సమస్యలని మాత్రమే శోధిస్తూ ('కళ్ళు చూసే దృశ్యాలని మెదడులోని న్యూరాన్లు ఎలా విశ్లేషిస్తాయి?' మొ॥) ఓ రంగం వేగంగా పురోగమించడం విశేషం.

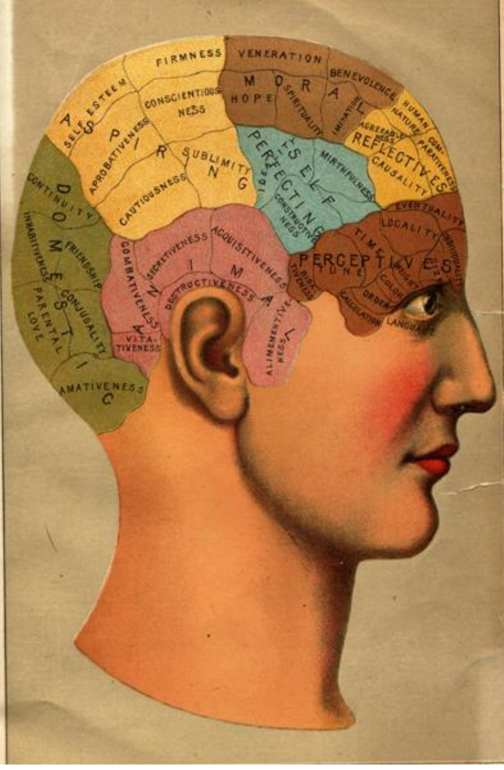
పూనకం పట్టిన వాణ్ణి వేపమండలతో బాది వాడిలోని 'దెయ్యాన్ని' వెళ్లగొట్టినట్టు, దేకార్త్ ఆ విధంగా శరీరంలోని 'మనసు'ని బహిష్కరించేశాడు. ఓ గడియారం లాగానో, ఓ ఆవిరి యంత్రం లాగానో మెదడు కూడా ఓ యంత్రమే; దాని క్రియలకి అడుగున ఉన్న భౌతిక ధర్మాలేంటో కనిపెడితే మెదడు రహస్యాలు బయటపడతా

యంటూ భౌతిక శాస్త్రవేత్తలని మెదడు పరిశోధన దిశగా ప్రోత్సహించాడు. ఈ దెబ్బతో ఒక విధంగా సమస్య మరింత జటిలం అయ్యింది. మునుపట్లా 'దేహం లోపల కొలువై వుంటూ కర్మలు చేస్తున్నది ఆత్మే' అంటూ ఫిలసాఫికల్ గా ఏదో వాగేసి, 'సరే అయితే ఆత్మని చూపించు' అంటే 'అది కంటికి కనిపించదు, చెవులకి వినిపించదు, నిప్పులో కాలదు, నీట్లో నానదు, గాలిలాగ మారదు...' అంటూ ఏవేవో మాయమాటలు చెప్పి తప్పించుకునే సౌకర్యం ఇప్పుడు చేజారిపోయింది. దేహ కర్మలని మెదడు చేయిస్తోంది. అది ఎలా చేయిస్తోంది? మన కళ్లు చూసే దృశ్యాలని మెదడు అర్థం చేసుకుంటోంది. ఎలా అర్థం చేసుకుంటోంది? ఈ విధంగా శరీర కర్మలని మెదడు ఎలా శాసిస్తోందో, మెదడులో ఏఏ విభాగాలు ఏఏ పనులు చేస్తున్నాయో అన్నీ వివరంగా పరిశోధించి, తెల్సుకోవలసిన అగత్యం ఎర్పడింది!

ఈ దిశలో మొదటి అడుగు వేసినవాడు ఫ్రాన్స్ జోసెఫ్ గాల్ (Franz Joseph Gall, 1758–1828) అనే ఓ జర్మన్ వైద్యుడు. మానవ లక్షణాలలో ప్రతి యొక్క దానికి ప్రతినిధిగా మెదడులో ప్రత్యేక స్థానాలు ఉంటాయని గాల్ నమ్మాడు. ('నమ్మాడు' అని ఎందుకు అనాల్సి వస్తుందంటే ఈ పెద్దమనిషి నిజంగా ఎప్పుడూ అసలు కపాలాన్ని కోసి, మెదణ్ణి చూసిన పాపాన పోలేదు!). "అఖిలమై, అనన్యమై, అనిర్వచనీయమై, నిరాకారమై, నిత్యమై, నిఖిలమై వెలుగొందే ఆత్మ" ఒక పక్క, ఒక్కొక్క కార్యాన్ని ఒక్కొక్క విభాగం చేసే మెదడు మరో పక్క– ఈ రెండిటి తీరు తెన్నూ పూర్తిగా భిన్నం అన్నట్టు అయ్యింది.

మెదడులో ఒక్కొక్క ప్రాంతం ఒక్కొక్క క్రియకి బాధ్యత వహిస్తుంది అని భావించాడు ఫ్రాన్జ్ గాల్. అంతేకాదు. మెదడులో ఆ ప్రాంతం యొక్క పరిమాణం ఆ వ్యక్తిలో ఆ లక్షణం యొక్క గాఢత మీద ఆధారపడి వుంటుంది అన్నాడు. ఉదాహరణకి మెదడులో ఒక ప్రాంతం వ్యక్తిలోని దయా గుణాన్ని శాసిస్తుంది అనుకుందాం (నిజానికి అలాంటిదేం లేదు, కాని మరి గాల్ ఇలాంటి కమ్మని కథలే చెప్పేవాడు!). ఆ వ్యక్తి విపరీతంగా దయాగుణం గల వాడైతే అతడి మెదడులో ఆ 'దయాగుణ ప్రాంతం' బాగా విస్తారంగా ఉంటుందన్నమాట. అదే బాగా కుటిల, సంకుచిత స్వభావం గల వాడిలో అయితే అదే ప్రాంతం బాగా కుంచించుకుపోయి వుంటుంది. అక్కడితో ఆగక గాల్ తన వాదనలో మరో మెట్టు ఎక్కాడు. వ్యాకోచించిన మెదడు ప్రాంతాలు (ఇక వ్యాకోచించడానికి స్థలం లేక కాబోలు!) పైన వున్న కపాలం మీద ఒత్తిడి చేస్తాయి. దాంతో కపాలం యొక్క ఆకారంలో కూడా మార్పులు వస్తాయి. ఆ కారణం చేత విస్తారమైన 'దయాగుణ ప్రాంతం' ఉన్న వ్యక్తిలో ఆ

ప్రాంతానికి పైన వున్న కపాలం కాస్త ఉబ్బెత్తుగా ఉంటుందన్నమాట. కనుక తల మీద బొడిపెలు ఎక్కడెక్కడ వున్నాయో చూస్తే, దాని బట్టి ఆ వ్యక్తి యొక్క వ్యక్తిత్వం ఎలాంటిదో చెప్పొచ్చు అనేవాడు గాల్. (అందుచేత తిరుపతి నుండి తిరిగొచ్చిన వారి చరిత్ర అంతా ఓ తెరిచిన పుస్తకం అవుతుంది!).



గాల్ రూపొందించిన ఈ చిత్రమైన శాస్త్రం పేరు Phrenology (మస్తక విజ్ఞానం). ఇదంటే గిట్టని వాళ్ళు దీన్ని bumpology (బొడిపెల శాస్త్రం) అని కూడా అనేవారు. ఆది నుండీ కూడా ఈ శాస్త్రాన్ని ఓ కుహనా శాస్త్రం గానే ఎరిగినవారు పరిగణించేవారు. అయినా జ్యోతిష్యం, హస్తసాముద్రికం మొదలైన రంగాల లాగానే ఈ రంగానికి ప్రజలలో ఒక వర్గం నుండి గొప్ప ఆదరణ ఉండేది. ఆ ఆదరణ ఇటీవలి కాలం వరకు కూడా నిలిచింది. (ఫ్రీనాలజీ 'నిపుణుల' ఆదాయం చూసి కన్ను కుట్టి కాబోలు, 2007 లో అమెరికాలోని మిషిగాన్ రాష్ట్రం ఫ్రీనాలజీ సేవల మీద పన్ను విధించింది!)

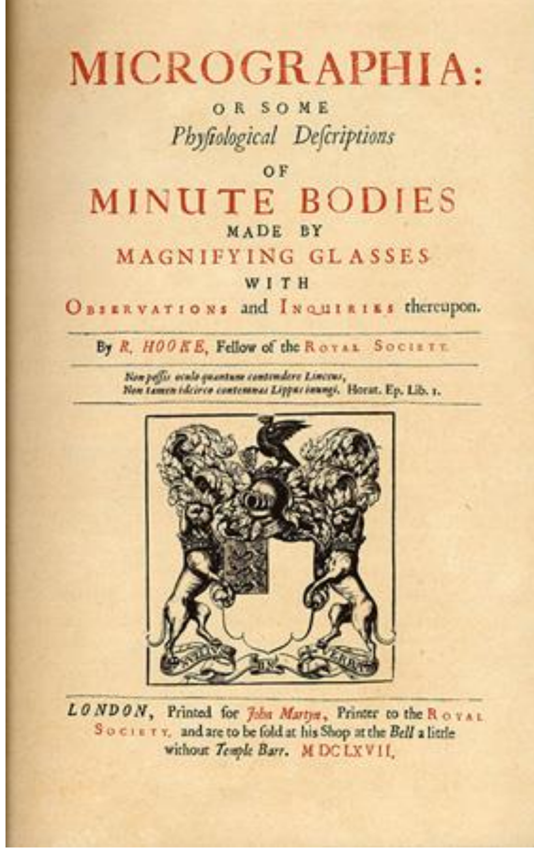
అశాస్త్రీయమే అయినా ఫ్రీనాలజీ ఓ ఆసక్తికరమైన ప్రక్రియ. తెలియక చేసినా అది సరైన దిశలోనే అడుగు వేసింది. మెదడులో వివిధ క్రియలు వివిధ ప్రాంతాల చేత శాసించబడతాయి అనే విలువైన భావనకి అది

శ్రీకారం చుట్టుంది. ఈ భావనకే "ప్రాంతీయకరణ" (localization) అని పేరు. "అన్నిటికీ ఆత్మే మూలం" అనే సిద్ధాంతం కన్నా "మెదడులో వివిధ ప్రాంతాలు వివిధ క్రియలు నెరవేరుస్తాయి" అనే భావన మరింత శాస్త్రీయమైనది. ఎందుకంటే ఈ రెండవ సిద్ధాంతాన్ని ప్రయోగం చేసి పరీక్షించడానికి వీలుంది. అయితే మూల భావన శాస్త్రీయమే అయినా అందులోని వివరాలు శాస్త్రీయం కావు. ఎందుకంటే మెదడులో ఏ భాగం ఏ పని చేస్తుంది అన్న ప్రశ్నకి సమాధానంగా ఫ్రీనాలజిస్టులు ఏవో నిరాధారిత ఊహాగానాలు అల్లారే తప్ప ఆ విషయాన్ని నిశితంగా, ప్రయోగాత్మకంగా తేల్చలేదు. అలా తేల్చాలంటే భౌతిక శాస్త్ర నియమాలని క్రమబద్ధంగా మెదడుకి ఆపాదించి పరీక్షించాలి. అయితే ఫ్రీనాలజీ పుట్టిన నాటికి, అంటే పద్దెనిమిదవ శతాబ్దపు చివరి దశలో, భౌతిక శాస్త్రం యొక్క అభ్యున్నతి కూడా అంతంత మాత్రంగానే వుంది. అందుకే భౌతిక, జీవ శాస్త్రాలలో వివిధ రంగాలు పురోగమిస్తున్న కొద్ది, అందుకు సమాంతరంగా మెదడు పట్ల మన అవగాహన కూడా క్రమంగా పురోగమించింది.

విజ్ఞాన శాస్త్రంలో వివిధ విభాగాలలో జరిగిన పురోగతి వల్ల నాడీ విజ్ఞానం ఎలా లబ్ధి పొందిందో చూద్దాం.

శరీరనిర్మాణ శాస్త్రం (anatomy):

మెదడు యొక్క నిర్మాణం గురించి స్థూల పరిజ్ఞానం ఇంచుమించు రెండు వేల ఏళ్లుగా ఉంది. కాని మెదడు లోని సూక్ష్మం అంతా సూక్ష్మస్థాయిలో, అంటే కణాల స్థాయిలోనే వుంది. కనుక సూక్ష్మ ప్రపంచాన్ని చూడగల పరికరాల రూపకల్పన వల్ల మెదడుని సూక్ష్మ స్థాయిలో పరిశీలించడానికి వీలయ్యింది. రాబర్ట్ హూక్ నిర్మించిన సూక్ష్మదర్శిని (microscope) సహాయంతో మొట్టమొదటి సారిగా జీవప్రపంచాన్ని సూక్ష్మ స్థాయిలో పరిశీలించడానికి సాధ్యం అయ్యింది. ఈ కొత్త పరికరంతో హూక్ క్రిమికాటకాలు, పక్షి ఈకలు ఇలా జీవ ప్రపంచానికి సంబంధించిన ఎన్నో ఆసక్తికరమైన వస్తువులని స్పష్టంగా పరిశీలించాడు. తను చూసిన వింత లన్నిటినీ ఇంపైన చిత్రాలుగా వేసి Micrographia అనే పుస్తకంలో 1665 లో పొందుపరిచాడు.



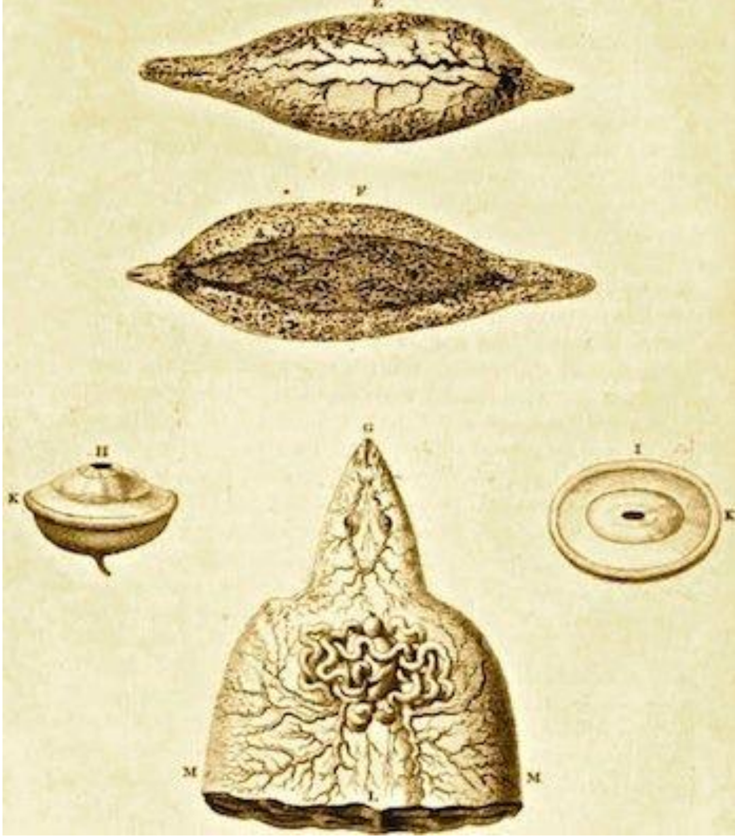
MICROGRAPHIA:
OR SOME
Physiological Descriptions
OF
MINUTE BODIES
MADE BY
MAGNIFYING GLASSES
WITH
OBSERVATIONS and INQUIRIES thereupon.

By *R. HOOKE*, Fellow of the ROYAL SOCIETY.

Non possis oculo quantum contendere Linceus,
Non tamen idcirco contemnas Lippus inungi. Horat. Ep. Lib. 1.

LONDON, Printed for *John Martyn*, Printer to the ROYAL SOCIETY, and are to be sold at his Shop at the *Bell* a little without *Temple Barr*. MDCLXVII.

హూక్ శంకుస్థాపన చేసిన ఈ సూక్ష్మదర్శక సాంప్రదాయాన్ని ఆంటాన్ వాన్ లీవెన్హాక్ మరింత ముందుకు తీసుకుపోయాడు. 1683 లో ఓ రోజు ఇతగాడు తన సొంత ఉమ్మిని సూక్ష్మదర్శినిలో పరిశీలిస్తున్నాడు. ఆ సందర్భంలో తనకి కనిపించిన దాన్ని ససేమిరా నమ్మలేకపోయాడు. “ఆ పదార్థంలో బోలెడన్ని చిన్ని చిన్ని జీవచరాలు చక చకా కదులుతున్నాయి,” అంటూ తను చూసిన దాన్ని అభివర్ణించాడు. ఆ ‘చిన్ని చిన్ని జీవచరాల’ని వర్ణించడానికి animalcules అనే పదం వాడాడు. ఆ విధంగా లీవెన్హాక్ మొట్టమొదటి జీవకణాలని కళ్లార చూసివాడయ్యాడు. తదనంతరం ఓ నాడీ తీగని పరిచ్ఛేదించి ఆ పరిచ్ఛేదాన్ని కూడా సూక్ష్మదర్శినిలో చూశాడు.



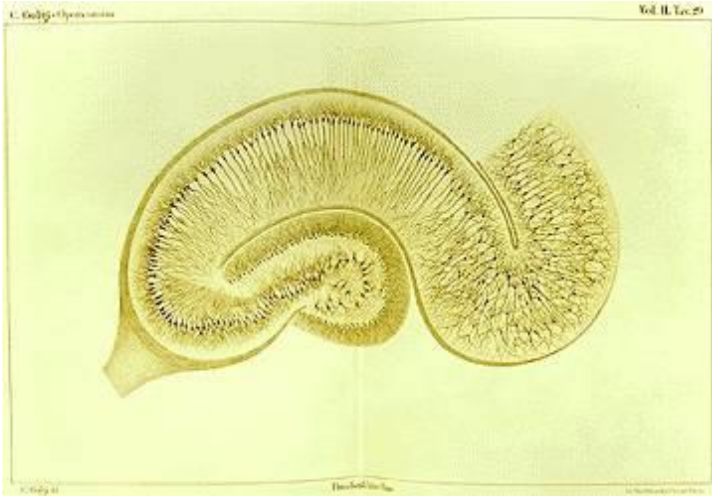
తన చిట్టి సూక్ష్మదర్శిని లోంచి చూస్తూ లీవెన్హాక్ గీసిన సూక్ష్మరాశుల చిత్రాలు

నాడీ కణాలని సూక్ష్మదర్శినిలో పరిశీలించినప్పుడు ఇతర కణాలతో రాని ఓ కొత్త సమస్య తలెత్తింది. నాడీ కణాలలో కణదేహానికి (cell body) ఎప్పుడూ తోకల్లాగా బోలెడు నాడీ తీగలు తగిలించబడి వుంటాయి. ఇతర ధాతువుల్లో కణాలకి సామాన్యంగా ఇలాంటి 'తోకలు' ఉండవు. ఇవి నాడీ కణాల ప్రత్యేక లక్షణం. ఇతర కణాలలో కణదేహాలు ఏదో అప్పడాల పిండి ముద్దల్లాగా ప్రత్యేకమైన ఆకారం లేకుండా ఉంటాయి. నాడీ కణాల తీగలని పరిశీలించిన మీదట ఆ కణాలన్నీ ఈ తీగల చేత కలబడి వున్నాయేమో నన్న సందేహం వచ్చింది. ఈ తీగలు సన్నని నాళాల లాంటివి అని అనుకుంటే ఈ నాళాలు వివిధ నాడీ కణాల కణ దేహాలని కలుపుతున్నాయేమో ఆలోచన వచ్చింది. కణానికి కణానికి మధ్య ప్రత్యేకమైన సరిహద్దు వంటిది లేకుండా, కణాల అంతరంగాలన్నీ ఓ అఖిలఘున రాశిగా కలిసిపోయి వున్నప్పుడు అలాంటి ధాతువుని syncitium (సిన్సీషియమ్) అంటారు. (చిన్న ఉపమానం: కొన్ని రైళ్లలో కంపార్ట్ మెంట్లని కలుపుతూ ద్వారాలు ఉంటాయి. ఆ ద్వారాలని వరుసగా దాటుకుంటూ ఏ కంపార్ట్‌మెంట్ నుండి ఏ ఇతర కంపార్ట్‌మెంట్ కైనా వెళ్లొచ్చు. వాటిని చూస్తే రైలంతా ఓ పొడవాటి కంపార్ట్ మెంట్ అని అనిపిస్తుంది. సిన్సీషియం అంటే

ఇలాంటిదే! కాని కంపార్ట్ మెంట్లని వేరు చేస్తున్నప్పుడు ఆ ద్వారాలని మూసేస్తారు. కంపార్ట్ మెంట్లు వేరు వేరుగా ఉన్నాయని అప్పుడు గాని అర్థం కాదు).

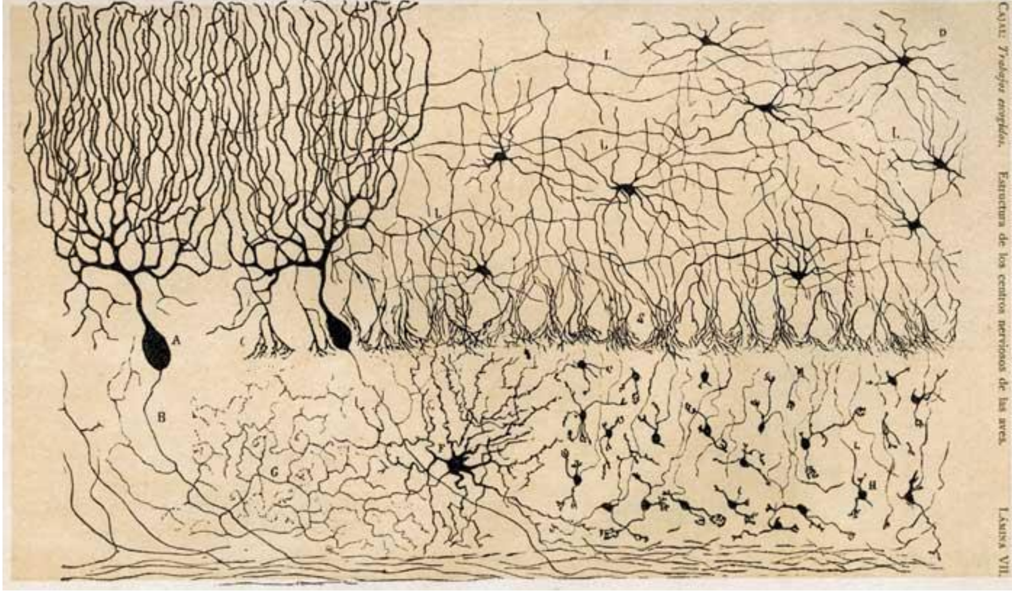
కాని నాడీ ధాతువు ఓ సిన్సీషియం లాంటిదని భావించడంలో మొట్టమొదటి నాడీ శాస్త్రవేత్తలు పప్పులో కాలేశారనే చెప్పాలి. వాళ్లు అలా అనుకోడానికి కారణం ఆ రోజుల్లో సూక్ష్మదర్శినుల శక్తి సామర్థ్యాల్లోని పరిమితులే. రెండు నాడీకణాల మధ్య అతిసన్నని సంధి వుంటుంది. అది ఎంత సూక్ష్మమైనదంటే ఆ రోజుల్లో లభ్యమయ్యే సూక్ష్మదర్శినులలో దాన్ని చూడడం సాధ్యం అయ్యేది కాదు. అప్పటి సూక్ష్మదర్శినుల వల్ల మరో సమస్య కూడా తలెత్తింది. కణంలో అధిక శాతం నీరే కనుక కణాలు చాలా మటుకు పారదర్శకంగా ఉంటాయి. కనుక సూక్ష్మదర్శినిలో చూసినా ఈ పారదర్శకత వల్ల కణానికి కణానికి మధ్య ఎడాన్ని గుర్తించడం కష్టం.

ఈ సమస్యని అధిగమించిన వాడు కామిలో గాల్జీ (Camillo Golgi). కాణానికి "రంగు వేసే" (staining) కొత్త పద్ధతిని కనిపెట్టాడు గాల్జీ. అలా రంగు వేసిన కణజాలాన్ని సూక్ష్మదర్శినిలో చూసినప్పుడు ఖాళీ నేపథ్యం మీద కణం కొట్టిచ్చినట్టు కనిపించింది. ఈ కొత్త పద్ధతికి 'గాల్జీ పద్ధతి' అని పేరొచ్చింది. సూక్ష్మదర్శిని సాంకేతిక చరిత్రలో ఇదో మైలు రాయి అయ్యింది.



గాల్జీ తన కొత్త పద్ధతిలో మెదడులో ఒక భాగానికి "రంగు వేసి" స్వహస్తాలతో గీసిన చిత్రం

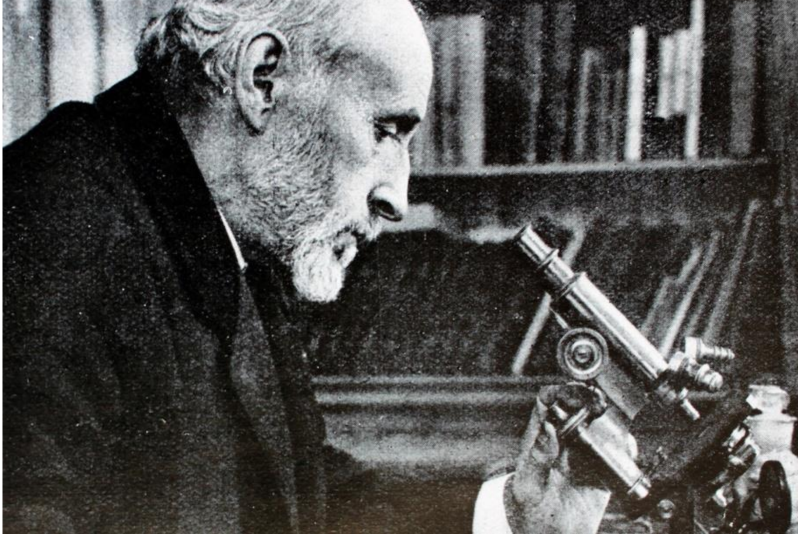
గాల్జీ కనిపెట్టిన ఈ కొత్త పద్ధతిని అద్భుతంగా వాడుకున్నాడు రేమాన్ ఇ కాహాల్ (Ramon y Cajal). మెదడులో వివిధ ప్రాంతాలకి చెందిన నాడీ ధాతువుని తెచ్చి సూక్ష్మదర్శినిలో చూశాడు కాహాల్. మెదడు వెనుక భాగంలో ఉండే సెరిబెల్లమ్ (cerebellum) అనే ఓ భాగం నుండి తీసిన పుర్కిన్యే కణం (Purkinje cell) అనే ఓ నాడీ కణాన్ని సూక్ష్మదర్శినిలో చూస్తూ కాహాల్ ఈ కింది చిత్రం వేశాడు. మామూలుగా నాడీ కణాలలో ఉండే తీగల కన్నా ఈ కణానికి తీగలు చాలా పెద్ద సంఖ్యలో ఉంటాయి. జడల మర్రి లాంటి ఈ కణంలో లక్షకి పైగా నాడీ తీగలు ఉంటాయి.



రేమాన్ ఇ కాహాల్ గీసిన పుర్కిన్యే కణం

ఈ విధంగా సూక్ష్మదర్శినితో చేసిన పరిశోధనల సహాయంతో మెదడు అంటే, నాడీ ధాతువు అంటే ఎలాంటి విభాగాలు, విభేదాలు లేని చలివిడి ముద్ద లాంటిది కాదని, అందులో ప్రత్యేక అంశాలైన నాడి కణాలు ఒకదాంతో ఒకటి సంబంధం లేకుండా, వేరు వేరుగా ఉన్నాయని ఓ నిర్ణయానికి వచ్చాడు. ఇతర కణాలకి నాడీకణాలకి మధ్య ముఖ్యమైన తేడా విరబోసుకున్న కురుల లాంటి ఆ నాడీ తీగలు. నాడీ కణాలకి దేనికదే ప్రత్యేక అస్తిత్వం వున్నా ఈ తీగల ద్వారా అవి ఒక దాన్నొకటి సంపర్కించుకుంటున్నాయని ఊహించాడు కాహాల్. ఒక దాంతో ఒకటి సంభాషించుకుంటున్నాయని అనుకున్నాడు. (నాడీ కణాల మధ్య అతి సూక్ష్మమైన ఎడం ఉంటుందని కాహాల్ ఊహించిన మాట నిజమే. కాని అది అతడికి సూక్ష్మదర్శినిలో కనిపించడం వల్ల కాదు. అప్పటి సూక్ష్మదర్శినులలో అంత చిన్న సందు కనిపించే అవకాశం లేదని ముందే

చెప్పుకున్నాం. ఊహించి చెప్పినా కాహాల్ చెప్పింది నిజమని తరువాత రుజువయ్యింది.) ఆ విధంగా మెదడు అసంఖ్యాకమైన నాడీ కణాలతో కూర్చబడ్డ అత్యంత సంక్లిష్టమైన జాలం అని ఊహించుకున్నాడు కాహాల్. ఈ భావనకే 'నూరాన్ సిద్ధాంతం' (neuron doctrine) అని పేరు. మెదడులో సూక్ష్మస్థాయి పరిజ్ఞానానికి సంబంధించి ఎన్నో విప్లవాత్మకమైన పరిణామాలు తెచ్చిన రేమాన్ ఇ కాహాల్ కి 1906 లో నోబెల్ పురస్కారం లభించింది.



రేమాన్ ఇ కాహాల్

నాడీ కణాల మధ్య నిజంగానే కొంత ఎడం వుందని నిరూపించడానికి మరి కొంత కాలం ఆగాల్సి వచ్చింది. గత శతాబ్దపు తొలి దశాబ్దంలో రాస్ హారిసన్ అనే నాడీ శాస్త్రవేత్త ఎదుగుతున్న పిండంలో నాడీ మండలం ఎలా రూపొందుతుందో పరిశోధించాడు. పిండంలో రూపుదిద్దుకుంటున్న మెదడులో తొలిదశలలో నాడి కణాల తీగలు ఇంకా వాటి లక్ష్యాలని చేరుకుని వుండవు. ప్రతి నాడీ కణం అది సంపర్కించగోరే మరో నాడీ కణం దిశగా తన తీగలని చేతులని చాచుతున్నట్టుగా పొడిగిస్తూ పంపుతుంది. ఆ కారణం చేత ఒక దశలో రెండు కణాల మధ్య బంధం లేకున్నా, తదనంతరం వాటిని కలుపుతూ తీగలు ఏర్పడవచ్చు. పిండం యొక్క పురోగతిని క్రమబద్ధంగా, దశలవారీగా సూక్ష్మదర్శినిలో పరిశీలించినప్పుడు నాడీ కణాల మధ్య తీగలు ఇంకా కలుసుకోని సందర్భాలు ఎన్నో కనిపించాయి. కనుక నాడీ కణాలు ప్రత్యేకమైన అంశాలు అని, నాడీ తీగల వల్ల ఏర్పడ్డ బంధాలు మధ్యలో వచ్చినవని, మొదటి నుండీ వున్నవి కావని రూఢి అయ్యింది.

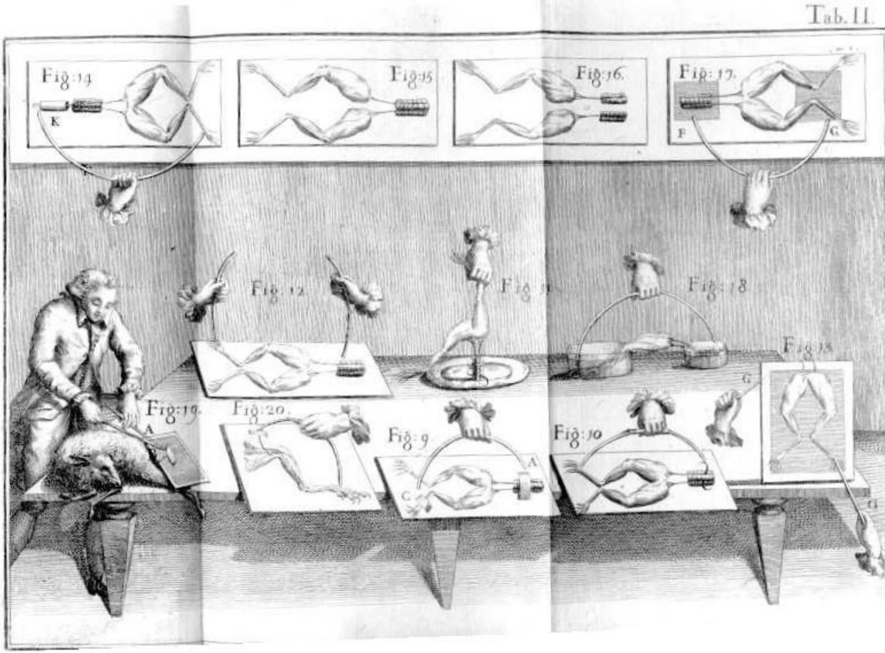
ఆ విధంగా జీవనిర్మాణ శాస్త్ర అధ్యయనాల వల్ల మెదడు కోటానుకోట్ల న్యూరాన్ల జాలం అని అర్థమయ్యింది. న్యూరాన్లు వేరు వేరుగా వున్నా అవి వాటి తీగలని సారించి ఒకదాన్నొకటి సంపర్కించుకుంటూ, ఒకదాంతో ఒకటి సంభాషిస్తూ వున్నాయి. బాహ్య ప్రపంచంలో టెలిఫోన్లలో మాట్లాడుతూ ఒకే సారి కోటానుకోట్ల మంది సంభాషించుకుంటున్నట్టు మెదడులో న్యూరాన్లు ఒకే సారి అంత పెద్ద సంఖ్యలో సంభాషణలు కొనసాగిస్తున్నాయి. మెదడు యొక్క నిర్మాణాన్ని సూక్ష్మస్థాయిలో అధ్యయనం చెయ్యడం వల్ల ఇలాంటి అవగాహన కలిగింది.

అయితే కేవలం నిర్మాణం గురించి తెలిస్తే మెదడు ఎలా పని చేస్తుందో అర్థం కాదు. మెదడు పని తీరు అర్థం కావాలంటే న్యూరాన్ల రూపురేఖలు తెలిస్తే సరిపోదు. న్యూరాన్లు ఏం చేస్తాయో తెలియాలి. అవి ఏం "మాట్లాడు"కుంటున్నాయో తెలియాలి. అప్పుడే స్థూల స్థాయిలో మెదడు ఎలా పని చేస్తుందో అర్థమవుతుంది. న్యూరాన్లు ఎలా పని చేస్తాయో అర్థం కావాలంటే వాటి గురించి అర్థం కావలసిన ప్రాథమిక విషయం ఒకటుంది. న్యూరాన్లు చిన్న ఎలక్ట్రానిక్ సర్క్యూట్ల లాంటివి. ఈ దృష్టితో న్యూరాన్లని చూడాలంటే జీవశాస్త్రంలో ఓ కొత్త శాఖతో పరిచయం కలిగించుకోవాలి. దాని పేరు విద్యుత్ జీవక్రియా శాస్త్రం (electrophysiology). ఆ శాఖ సంగతేంటో చూద్దాం.

విద్యుత్ జీవక్రియా శాస్త్రం (electrophysiology)

పాత జీవశాస్త్ర పుస్తకాలు తిరగేస్తే జీవ పదార్థం అంతా ఓ సంక్లిష్టమైన రసాయనిక వ్యవస్థ అని, అసలు జీవ తత్వం రసాయనిక తత్వమని, రసాయనిక చర్యలు తప్ప జీవ పదార్థంలో పెద్దగా ఏమీ లేదన్న తాత్పర్యం కనిపిస్తుంది. కాని జీవపదార్థ విషయంలో ఈ దృక్పథానికి పూర్తిగా విరుద్ధమైన దృక్పథం మరొకటి వుంది. దాని ప్రకారం జీవ వ్యవస్థ కేవలం ఓ విద్యుత్ వ్యవస్థ. జీవ శక్తి విద్యుత్ శక్తితో సమానం. ఈ రెండవ దృక్పథాన్ని ఆధారంగా చేసుకుని పని చేసేదే విద్యుత్ జీవక్రియా శాస్త్రం.

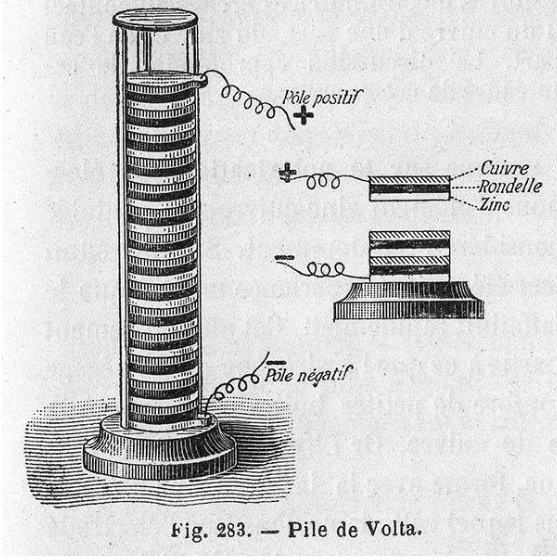
1771 లో సుదినాన ఈ విద్యుత్ జీవక్రియా శాస్త్రం ప్రాణం పోసుకుంది. ఆ రోజు ఇటాలియన్ భౌతిక శాస్త్రవేత్త లూయిగీ గాల్వానీ (Luigi Galvani) తన ప్రయోగశాలలో పని చేసుకుంటున్నాడు. విద్యుదావేశాలకి చెందిన ప్రయోగాలేవో చేసుకుంటున్నాడు. అంతలో పొరపాట్న విద్యుదావేశితమైన ఓ కడ్డీని (charged rod) ని పక్కనే వేలాడదీసిన ఓ కప్ప కాలి యొక్క కండరానికి తాకించాడు. చనిపోయిన ఓ కప్ప కాలు మాత్రం కండరం పైకి కనిపించేలా అక్కడ వేలాడదీసి వుంది. విద్యుత్ కడ్డీ తాకగానే ఆ కాలు జీవం ఉన్న కాలులా కొట్టుకుంది. గాల్వానీ అదిరిపోయాడు. ప్రాణం లేని కాలిలో చలనం ఎలా సంభవిస్తోంది? తరువాత గాల్వానీ అనుచరుడు ఒకడు కప్ప కాలిలోని సియాటిక్ నరాన్ని (sciatic nerve) విద్యుదావేశితమైన లోహపు కడ్డీతో తాకాడు. ఈ సారి కూడా కాలు కొట్టుకుంది. నరాన్ని తాకబోతుండగానే చిటపట చప్పుడుతో కడ్డీ నుండి నరానికి నిప్పురవ్వలు ఎగరడం కనిపించింది.



కప్పల కండరాలతో ప్రయోగాలు చేస్తున్న గాల్వానీ

ఇంచుమించు అదే కాలంలో గాల్వానీ సయోద్యోగి అయిన అలెక్సాండ్రో వోల్టా మనకందరికీ తెలిసిన 'వోల్టాయిక్ దొంతర' (Voltaic pile) ని రూపొందించాడు. ప్రస్తుతం మనం వాడే బ్యాటరీలకి ఈ 'వోల్టాయిక్ దొంతర' ఓ ప్రాచీన ప్రతిరూపం అన్నమాట. వోల్టాయిక్ దొంతర లో ప్రవహించేదీ విద్యుత్తే. మరి కప్ప కాలిని విద్యుదావేశిత కడ్డీతో తాకితే ప్రవహించేది కూడా విద్యుత్తే. అయితే గాల్వానీ ఈ రెండూ వేరు వేరు రకాల విద్యుత్తు అని

అభిప్రాయపడ్డాడు. ఒకటి 'జీవ పదార్థంలోని విద్యుత్తు,' రెండవది 'జీవరహిత పదార్థం లోని విద్యుత్తు.' కాని వోల్టా అలా అనుకోలేదు. రెండు విద్యుత్తులు ఒకటే అనుకున్నాడు. వోల్టా అనుకున్నదే నిజం అని తరువాత తెలిసింది. కప్ప కాలిలో ప్రవహించేది ఏదో విచిత్రమైన "జంతు విద్యుత్తు" (animal electricity) కాదని, అది కూడా మామూలు విద్యుత్తు లాంటిదేనన్న అవగాహన అలా మొదలయ్యింది. దాంతో సామాన్య విద్యుత్ ధర్మాలని మెదడు పని తీరుకి వర్తింపజేసే అవకాశం ఏర్పడింది.



వోల్టాయిక్ దొంతర

విద్యుత్ జీవ క్రియా శాస్త్రంలో ఒక పక్క పురోగతి అలా ఉండగా, పందొమ్మిదవ శతాబ్దపు తొలిదశలలో యోహానెస్ ముల్లర్ అనే జర్మన్ జీవక్రియాశాస్త్రవేత్త ఇంద్రియ సంవేదనలు ఎలా పని చేస్తాయి అన్న విషయాన్ని శోధిస్తున్నాడు. ఒక ఇంద్రియ నాడి (sensory nerve) ని ఉత్తేజింప జేసినప్పుడు కలిగే అనుభూతి ఆ ఉత్తేజాన్ని కలిగించిన మూలం యొక్క తత్వం మీద ఆధరపడదదని, కేవలం ఉత్తేజింప బడ్డ నాడి మీద ఆధారపడుతుందని ఇతడు కనుక్కున్నాడు.



యోహానెస్ ముల్లర్

ఉదాహరణకి కంట్లోని రెటీనా (retina) నే తీసుకోండి. రెటీనాలో ఫోటోరిసెప్టార్లు ఉంటాయి. వీటి మీద కాంతి పడినప్పుడు ఇవి ఉత్తేజితమవుతాయి. అవి ఉత్తేజితమైనప్పుడు విద్యుత్ సంకేతాలు ఆప్టిక్ నాడి (optic nerve) లోంచి ప్రసారమై మెదడుని చేరి దృశ్యాన్ని చూసిన అనుభూతిని కలుగజేస్తాయి. కాని చిత్రం ఏంటంటే కాంతి లేకుండా కూడా అలాంటి అనుభూతిని కలుగజేయొచ్చు. ఉదాహరణకి కన్ను మూసుకుని కనురెప్ప మీద మెల్లగా అరచేతితో వత్తితే చీకటిగా ఉండే దృశ్యం మీద పలచనని కాంతి చారలు కనిపిస్తాయి. అంటే కన్ను మీద చేసిన ఒత్తిడి వల్ల ఆ ఒత్తిడి రెటీనాకి ప్రసారమై, ఫోటోరిసెప్టార్లని ఉత్తేజపరిచింది. అప్పుడు పుట్టిన సంకేతం మెదణ్ణి చేరి దృశ్యానుభూతిని కలిగించింది. కనుక కాంతి లేకపోయినా దృశ్యానుభూతిని కలుగజేయొచ్చన్నమాట. దానికి కారణం రెండు సందర్భాలలో ఫోటోరిసెప్టార్లు ఉత్తేజితం కావడమే.

ఇంద్రియ సంవేదనలకి సంబంధించిన ఈ నియమానికి 'Law of specific energies' (ప్రత్యేక శక్తుల నియమం) అని పేరు పెట్టాడు ముల్లర్. ముల్లర్ కృషితో భౌతిక నియమాలని నిస్సంకోచంగా మెదడు పని తీరుకి వర్తింపజేసే సాంప్రదాయం, ముఖ్యంగా మెదడులోని విద్యుత్ చర్యల పరిశోధనలో వినియోగించే సాంప్రదాయం మొదలయ్యింది. తను రాసిన Elements of physiology అనే పుస్తకంలో, భౌతిక నియమాలని నాడీ మండలం యొక్క క్రియలని అర్థం చేసుకోడానికి ఎలా ప్రయోగించాలో వర్ణిస్తూ, ఆ ప్రయత్నంలో తీసుకోవాల్సిన జాగ్రత్తల గురించి ఇలా చెప్తున్నాడు ముల్లర్ –

“పైపైన చూసినప్పుడు ప్రాణులకి సంబంధించిన చర్యలలో సాధారణ యాంత్రిక, భౌతిక, రసాయనిక ధర్మాలకి అందని దేదో ఉన్నట్టు అనిపించినా, ఆ విధమైన శోధన చేత ప్రాణుల గురించిన ఎన్నో విషయాలని చక్కగా వివరించవచ్చు. పరిశీలన, ప్రయోగం అనే పునాదుల మీద మనం స్థిరంగా ఆధారపడినట్లయితే ఆ రకమైన శోధనలో చాలా ముందుకి పోవచ్చు.”

ముల్లర్ శిష్యవర్గంలో ఇద్దరు ప్రముఖులు ముల్లర్ వేసిన బాటలో ఎంతో పురోగమించారు. వారు – ఎమిల్ దుబ్వా రేమండ్ (Emil Dubois Reymond) మరియు హర్మన్ ఫాన్ హెల్మ్ హోల్ట్ (Hermann von Helmholtz). దుబ్వా రేమాండ్ ప్రయోగాత్మక పద్ధతిలో ముందుకి సాగాడు. ముందుగా “విద్యుత్ చేపల” మీద పరిశోధనతో మొదలెట్టాడు. విద్యుత్ ఈల్ (electric eel), కాట్ ఫిష్ (catfish) మొదలైన జలచరాలు ఈ కోవకి చెందినవే. ఈ జలచరాలలో పుట్టే విద్యుత్ శక్తి కారణంగా వాటి చుట్టూ ఓ విద్యుత్ క్షేత్రం ఏర్పడి వుంటుంది. ఆ విద్యుత్ శక్తికి మూలం నాడీ మండలమే. జంతు నాడీ మండలాలకి సంబంధించిన విద్యుత్ చర్యల గురించి దుబ్వా రేమాండ్ ఎన్నో పరిశోధనలు చేశాడు. తన పరిశోధనా ఫలితాలన్నీ Researches on Animal Electricity (జంతు విద్యుత్తు మీద పరిశోధనలు) అనే పుస్తకంలో పొందుపరిచాడు. విద్యుత్ జీవక్రియా శాస్త్రంలో అతడు చేసిన అతి ముఖ్యమైన ఆవిష్కరణ action potential. నాడీ తీగలో విద్యుత్ ప్రవాహం ఓ కచ్చితమైన, క్లుప్తమైన విద్యుత్ తరంగం రూపంలో ఉంటుంది. ఆ తరంగాన్నే ఏక్షన్ పొటెన్షియల్ అంటారు. అయితే ఆ ఏక్షన్ పొటెన్షియల్ ఎలా ప్రసారం అవుతుందో అర్థం చేసుకోడానికి కావలసిన గణిత, భౌతిక శాస్త్ర నైపుణ్యం అతడికి అందుబాటులో లేకపోయింది.



ఎలెక్ట్రిక్ ఈల్

మెదడు యొక్క విద్యుత్ ధర్మాన్ని మరింత లోతుగా అర్థం చేసుకోవడంలో ఉపయోగపడ్డ పరిణామం మరొకటి వుంది. మెదడుతో సంబంధం లేకుండా అసలు విద్యుత్ శక్తి యొక్క అవగాహనలో ఆ కాలంలో గొప్ప పురోగతి సంభవించింది. ఇంగ్లండ్ కి చెందిన జేమ్స్ క్లార్క్ మాక్స్ వెల్ అనే సైద్ధాంతిక భౌతిక శాస్త్రవేత్త విద్యుత్ శక్తిని, అయస్కాంత శక్తిని ఓ సమగ్రమైన సైద్ధాంతిక నిర్మాణంలో కలగలిపి విద్యుదయస్కాంత శక్తి గురించి ప్రపంచానికి తెలిపాడు. కాంతి అనేది ఓ విద్యుదయస్కాంత తరంగం అని ప్రకటించాడు.



జేమ్స్ క్లర్క్ మాక్స్‌వెల్

సైద్ధాంతిక భౌతిక శాస్త్రంలో వచ్చిన ఈ రకమైన పురోగమనాన్ని వాడుకుంటూ హర్మన్ ఫాన్ హెల్మ్ హోల్ట్జ్ లాంటి సైద్ధాంతిక భౌతిక శాస్త్రవేత్తలు ఈ కొత్త భౌతిక శాస్త్ర సంగతులని జీవశాస్త్రానికి వర్తింపజేసే ప్రయత్నాలు మొదలెట్టారు. ముఖ్యంగా నాడీ మండలం యొక్క క్రియలని అర్థం చేసుకోవడంలో ఈ రకమైన పరిశోధన ఎంతో ఉపయోగపడింది. ఇటు సైద్ధాంతిక భౌతిక శాస్త్రంలోనే కాక అటు జీవక్రియా శాస్త్రంలో కూడా గొప్ప పాండిత్యం గల హల్మ్ హోల్ట్జ్ లాంటి మహామహుల వల్ల ఆ రోజుల్లో జీవశాస్త్ర పరిశోధన మంచి ఊపందుకుంది. ఒక వ్యక్తికి రెండు పూర్తిగా భిన్నమైన రంగాల్లో లోతైన పరిజ్ఞానం ఉండడం అనేది వర్తమాన కాలంలో కూడా

కొంచెం అరుదే. ఈ రోజుల్లో సామాన్యంగా ఏం జరుగుతుందంటే జీవశాస్త్రంలో బాగా ప్రావీణ్యం ఉన్న వాడు భౌతిక శాస్త్రం నుండో, గణితం నుండో కొన్ని భావాలని అరువు తెచ్చుకుని వాటిని జీవశాస్త్రంలోకి ప్రవేశపెట్టడానికి ప్రయత్నిస్తాడు. లేదా ఓ భౌతిక శాస్త్ర సమస్యగానో, లేదా గణిత సమస్య గానో ముందే కచ్చితంగా నిర్వచించబడ్డ ఓ జీవశాస్త్ర సమస్యని తీసుకుని దాన్ని భౌతిక, గణిత విధానాలతో పరిష్కరించే ప్రయత్నం చేస్తారు. లేదా ఓ జీవశాస్త్రవేత్త, ఓ భౌతిక శాస్త్ర వేత్త చేయిగలిపి జీవశాస్త్రంలో ఏదైనా లోతైన సమస్యతో తలపడడం మొదలెడతారు. కాని జీవ, భౌతిక శాస్త్రాలలో "ఉభయ భాషా ప్రవీణుడైన" హెల్మ్ హోల్ట్జ్ ఇలాంటి ఇబ్బందులేవీ పడలేదు.



హెర్మన్ ఫాన్ హెల్మ్‌హోల్ట్జ్

భౌతిక, జీవ శాస్త్రాలు రెండిట్లోను సజావుగా పురోగమిస్తూ రెండు రంగాలలోను గొప్ప ఆవిష్కరణలు చేశాడు హెల్మ్ హోల్ట్జ్. పూర్వులైన సాడీ కార్నో (Sadi Carnot), జేమ్స్ జూల్ (James Joule) మొదలైన శాస్త్రవేత్తల పరిశోధనలని లోతుగా అర్థం చేసుకున్న హెల్మ్ హోల్ట్జ్, ఉష్ణం, కాంతి, విద్యుత్తు, అయస్కాంతికత మొదలైన వన్నీ శక్తి యొక్క వివిధ రూపాంతరాలేనని గుర్తించాడు. ఉష్ణగతి శాస్త్రంలో (thermodynamics) విలియమ్ రాంకైన్ (William Rankine) తో పాటు కలిసి కృషి చేస్తూ విశ్వం యొక్క ఉష్ణ మరణం (heat death of the universe) అన్న భావనకి ప్రాచుర్యం కలిగించాడు. మూసి వున్న ప్రతీ వ్యవస్థలోను ఎంట్రొపీ (entropy) అనే రాశి ఓ గరిష్ట విలువ దిశగా పరిణామం చెందుతుందని ఉష్ణగతి శాస్త్రం చెప్తుంది. విశ్వం మొత్తాన్ని ఓ వ్యవస్థగా తీసుకుంటే భవిష్యత్తులో ఏదో ఒకనాడు దాని ఎంట్రొపీ గరిష్ట విలువని చేరుకున్నదంటే, ఇక దాని స్వేచ్ఛా శక్తి (free energy) సున్నా అవుతుంది. జీవక్రియలకి ఆధారభూతమైన స్వేచ్ఛా శక్తి లోపించిన అలాంటి విశ్వంలో ఇక జీవం వుండదు. అలాంటి జీవరహిత విశ్వస్థితిని విశ్వం యొక్క ఉష్ణ మరణం అంటారు.

శబ్ద శాస్త్రంలో హెల్మ్ హోల్ట్జ్ అనునాదిని (resonator) అనే పరికరాన్ని రూపొందించాడు. శబ్ద శాస్త్రంలో దీనికి గొప్ప ప్రయోజనాలు ఉన్నాయి. కంటి లోపలి భాగాలని చూసేందుకు పనికొచ్చే opthalmoscope ని కూడా కనిపెట్టింది ఇతగాడే. ఈ పరికరం నయన శాస్త్రంలో (opthalmology), కంటి చికిత్సలోను విప్లవం తెచ్చింది. ఇక విద్యుదయస్కాంత రంగంలో ఇతడు సాధించిన దానికి చిహ్నం గా నేడు మనం హెల్మ్ హోల్ట్జ్ సమీకరణం (Helmholtz equation) గురించి చెప్పుకుంటున్నాం. కొన్ని ప్రత్యేక పరిస్థితుల్లో విద్యుదయస్కాంత తరంగాలు ప్రసరించే తీరుని ఈ సమీకరణం వర్ణిస్తుంది. నాడీ తీగలలో ఏక్షన్ పొటెన్షియల్ యొక్క ప్రసారం గురించిన అధ్యయనాలలో ఈ సమీకరణం ఎంతో ఉపయోగపడింది.

ఆ విధంగా ఇరవయ్యవ శతాబ్దపు ఆరంభం కల్లా మెదడు ఓ విస్తృతమైన, సంక్లిష్టమైన విద్యుత్ యంత్రం అని అర్థమయ్యింది. మెదడు ఓ పెద్ద విద్యుత్ సర్క్యూట్. ఆ సర్క్యూట్ లోని అంగాలు నాడీ కణాలు లేక న్యూరాన్లు. వాటిని కలిపే తీగలు నాడులు. టెలిఫోన్ తీగలలో ప్రసారమయ్యే విద్యుత్ సందేశాలకి, ఒక న్యూరాన్ నుండి అవతలి న్యూరాన్ కి సమాచారాన్ని మోసుకుపోయే విద్యుత్ సందేశాలకి, భౌతికంగా ఆట్టే తేడా లేదని తెలిసిపోయింది. జీవపదార్థాన్ని అదిలించే, కదిలించే "ప్రాణ శక్తులు," "జీవశక్తులు" మొదలైన కృతక భావనలతో ఇక అవసరం తీరిపోయింది. ఆధునిక భౌతిక పద్ధతులనే వేపమండలతో బాది బాది అలాంటి "శక్తులు" అన్నిటినీ నాడీ శాస్త్రం నుండి బహిష్కరించారు. విద్యుత్ జీవక్రియా శాస్త్రం, విద్యుత్ సాంకేతిక శాస్త్రం (electrical engineering) లో జరిగిన పురోగమనం వల్ల భౌతిక ధర్మాలతో క్రమబద్ధంగా మెదడుని అధ్యయనం చెయ్యడానికి వీలయ్యింది.

ఔషధశాస్త్రం (Pharmacology)

మెదడుని ఓ పెద్ద విద్యుత్ యంత్రంగా ఊహించుకోవడం సమంజసమే అయినా, మెదడులో జరిగేవి విద్యుత్ చలనాలు తప్ప మరింకేమీ లేదంటే పొరబాటే అవుతుంది. ఒక న్యూరాను మరో న్యూరాన్ కి సందేశం పంపినప్పుడు ఆ సందేశం యొక్క పురోగమనంలో పలు దశలు ఉంటాయి. ఆ దశలలో ఒక్కటి తప్ప మిగతా దశలన్నీ విద్యుత్ చర్యలే. ఆ ఒక్క దశ – అది అతి ముఖ్యమైన దశ - మాత్రం రసాయనిక దశ. సందేశాన్ని పంపగోరుతున్న న్యూరాన్ ఓ రసాయనాన్ని విడుదల చేస్తుంది. న్యూరాన్ కి న్యూరాన్ కి మధ్య ఉండే సైనాప్స్ (synapse) అనే ఓ సన్నని సందుని దాటుకుని ఆ రసాయనం అవతలి న్యూరాన్ మీద పడుతుంది. ఇలా రసాయనాన్ని మాధ్యమంగా వాడుకుని న్యూరాన్ల మధ్య జరిగే సంభాషణని న్యూరో ట్రాన్స్ మిషన్ (neurotransmission) అంటారు. ఈ న్యూరో ట్రాన్స్ మిషన్ ప్రక్రియలో సూక్ష్మస్థాయిలో ఏమేం జరుగుతాయో ఆ వివరాలన్నీ గత శతాబ్దపు చివరి దశలోనే తెలిశాయి.

కాని నాడీ మండలం మీద రసాయనాల ప్రభావం ఉంటుందనే భావన కొత్తదేమీ కాదు. వెనకటి రోజుల్లో వేటగాళ్లు బాణం కొసకి విషం పూసి కొట్టేవారట. అది తగిలిన జంతువు నిశ్చేష్టమై కదల్లేక వేటగాడికి చిక్కిపోతుంది. దానికి కారణం బాణానికి పూసిన విషం జంతువు కండరాలని అదిలించే నాడిమండలం యొక్క చర్యకి అడ్డుపడడమే. అంటే రసాయనం నాడీ మండలం మీద పని చెయ్యగలదన్నమాట. ఇది కాకుండా మత్తు పానీయాలు, బాధోపశమనం కలిగించే మందులు మొదలైన వన్నీ రసాయనాలకి నాడీ మండలం మీద ప్రభావం ఉంటుందని మనకి అనాదిగా తెలుసు అనడానికి తార్కాణాలు.

19 వ శతబ్దంలో నాడీమండలం మీద రసాయనాల ప్రభావం గురించి కొన్ని గణనీయమైన పరిశోధనలు చేసినవాడు క్లాడ్ బెర్నార్డ్ అనే ఫ్రెంచ్ జీవక్రియాశాస్త్రవేత్త. బాహ్యాపరిస్థితులు ఎంతగా మారుతున్నా జీవరాశులు మారని అంతరంగ స్థితిని నిలుపుకునే ప్రయత్నం చేస్తుంటాయని ప్రతిపాదించిన వాడు ఈ క్లాడ్ బెర్నార్డ్. అలాంటి మారని అంతరంగ స్థితికి 'సమానావస్థ (homeostasis)' అని పేరు పెట్టాడు. ఉదాహరణకి ఆరోగ్యవంతుడైన మనిషిలో రక్తపీడనం, అంతరంగ ఉష్ణోగ్రత మొదలైన రాశులు కొన్ని నియత విలువల దగ్గర

ఉంటాయి. ఇలాంటి ప్రామాణిక రాశులతో కూడుకున్న స్థితినే homeostasis అంటారు. ఆ భావనని అతడి మాటల్లోనే విందాం – “La fixité du milieu intérieur est la condition d'une vie libre et indépendante” (మారని అంతరంగ అవస్థ స్వతంత్రమైన, స్వేచ్ఛా జీవనానికి అవసరమైన నియమం.)

ఇతడు శరీరం మీద విషపదార్థాల ప్రభావాన్ని పరిశోధించాడు. ముఖ్యంగా క్యురారే (curare) మరియు కార్బన్ మోనాక్సయిడ్ ల మీద అధ్యయనాలు చేశాడు. ఈ క్యురారే అనేది కండరం మీద పని చేసే విషం. దక్షిణ అమెరికాలో దీన్ని వేటగాళ్లు వాడేవారు. క్యురారేలో ముంచిన బాణంతో జంతువుని కొడితే అది ఊపిరి సలపక ప్రాణాలు విడుస్తుంది. ఎందుకంటే బాణానికి వున్న విషం యొక్క ప్రభావం వల్ల ఊపిరితిత్తులని అదిలించే కండరాలు స్తంభించిపోతాయి. ఇలాగే కార్బన్ మోనాక్సయిడ్ ఓ విషవాయువు. దీని ప్రభావం వల్ల మతిస్థిమితం తప్పుతుంది, మనసులో అయోమయ స్థితి ఏర్పడవచ్చు. మూర్ఛ కలగవచ్చు. ఈ వాయువు హెచ్చు మోతాదుల్లో రక్తంలో కలిస్తే ఆ రక్తం లో ఆక్సిజన్ ని మోసుకుపోయే సామర్థ్యం సన్నగిల్లుతుంది. ఆ కారణం చేత శరీరానికి తగినంత ఆక్సిజన్ అందక వ్యక్తి మరణించవచ్చు.

విషపదార్థాలు నాడీమండలం మీద పని చేసి హానికర పరిణామాలు కలుగజేసినట్టే, ఔషధాలు నాడీమండలం మీద హితమైన ప్రభావాన్ని చూపించగలవు. మందులు నాడీమండలం మీద ప్రభావాన్ని ఎలా చూపుతాయి అన్న ప్రశ్న మీద దృష్టి సారించాడు కేంబ్రిడ్జ్ విశ్వవిద్యాలయానికి చెందిన జాన్ లాంగ్లీ (John Langley) అనే జీవక్రియాశాస్త్రవేత్త. పందొమ్మిదవ శతాబ్దంలో చివరి దశలలో నాడీమండలం మీద మార్ఫీన్ (morphine) (ఇదో మత్తు మందు), డిజిటాలిస్ (digitalis) (ఇది గుండె కొట్టుకునే సామర్థ్యాన్ని పెంచుతుంది, గుండె యొక్క అపలయలని (arrhythmias) నిరోధిస్తుంది) మొదలైన నాడీ ఔషధాల ప్రభావాన్ని ఏదో అవిశ్పష్టంగా, అయోమయంగా వివరించేవారు. ఈ మందులు పని చేస్తాయి అని తెలుసు గాని, ఎలా పని చేస్తాయో తెలిసేది కాదు. జీవపదార్థానికి ఔషధాలకి మధ్య ఏదో ప్రత్యేకమైన సంబంధం (affinity) ఉందని తలపోసేవారు. ఔషధాలు ఎలాగో నేరుగా ధాతువు (tissue) మీద, కణాల మీద పని చేస్తాయని అనుకునేవారు.

కాని లాంగ్లీ మరోలా ఆలోచించాడు. ఔషధం శరీరం మీద పని తీరు కేవలం ఓ రసాయన చర్య అని, రెండు అణువుల మధ్య జరిగే చర్య తప్ప అది మరేమీ కాదని అతడు ఊహించాడు. ఎన్నో అద్భుతమైన ప్రయోగాలు చేసి ఔషధాలు నేరుగా ధాతువు మీద పని చెయ్యడం లేదని, ఔషధపు అణువు యొక్క ప్రభావాన్ని గ్రహించే "సంగ్రాహక అణువులు" (receiving molecules) ఉంటాయని అతడు ప్రతిపాదించాడు. వాటికి రిసెప్టార్లు (receptors) అని పేరు పెట్టాడు. ఈ రిసెప్టార్ ఔషధం యొక్క ప్రభావాన్ని గ్రహించి దాని ఫలితాలని చుట్టూ ఉన్న ధాతువు మీదకి పంపిస్తుంది.

ఇలాంటి రిసెప్టార్లు మరి న్యూరాన్ల మీద ఉంటాయని అనుకుంటే వాటి ప్రయోజనం ఏమిటి? ఎందుకంటే ఔషధం అనేది మనిషి ప్రయోగిస్తే శరీరంలోకి ప్రవేశించే పదార్థం. న్యూరాన్ల మీద రిసెప్టార్లు మరి మనిషి ప్రవేశపెట్టిన ఔషధాలకి స్పందించడం కోసం కాచుకు కూర్చోలేదు. ఔషధాలకి స్పందించడానికి కాకపోతే మరి న్యూరాన్ల మీద రిసెప్టార్లు ఏం చేస్తున్నట్టు? ఈ ప్రశ్నకి సమాధానంగా న్యూరాన్లు పరస్పర రసాయనాల సహాయంతో సంభాషించుకుంటాయి అన్న అవకాశం సూచించబడుతోంది.

ఈ రకమైన చింతనలో ముందున్న వాడు ఆటో లెవీ (Otto Loewi). 1920 ల ప్రాంతాల్లో ఈ ఆటో లెవీ రసాయనాల సహాయంతో న్యూరాన్లు సందేశాలు పంపుకుంటాయి అన్న విషయాన్ని నిరూపించడానికి తగ్గ విధానం కోసం అన్వేషించసాగాడు. ఆటో లెవీ కి ముందు ఈ విషయం మీద కొంత సంధిగ్ధం ఉండేది. న్యూరాన్లు విద్యుత్ సందేశాలతో సంభాషించుకుంటాయి అని ఒక వర్గం నమ్మితే, రసాయనాలతో సంభాషించుకుంటాయని మరో వర్గం వాదించేది. ఈ సంగతేంటో తేల్చడానికి పూనుకున్నాడు ఆటో లెవీ.

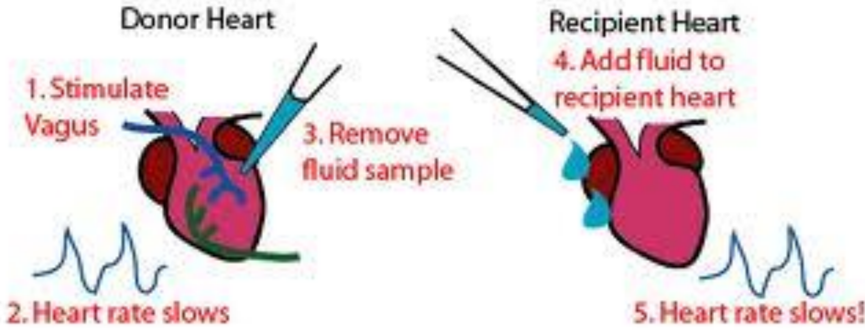


ఆటో లెవీ

అది 1921 సంవత్సరం. ఆ రోజు ఈస్టర్ పండగ. శనివారం. ఆ రాత్రి తనకి ఓ చిత్రమైన కల వచ్చింది. తను అన్వేషిస్తున్న ప్రయోగం ఎలా చెయ్యాలో ఆ వివరాలన్నీ ఆ కలలో కనిపించాయి. వెంటనే మేలుకుని కలలో కనిపించిన వివరాలన్నీ ఆదరబాదరాగా ఓ చిన్న నోట్ బుక్ లో రాసుకున్నాడు. మర్నాడు ఉదయం లేవగానే రాత్రి కల గన్న సంగతి, ఆ వివరాలు రాసుకున్న సంగతి గుర్తొచ్చింది. సంతోషం పట్టలేకపోయాడు. తను రాసుకున్న నోట్ బుక్ తెరిచి చూస్తే రాత్రి నిద్రమత్తులో రాసిన కోడి గీతలు కనిపించాయి. ఏం రాసుకున్నాడో ఎంత తలబాదుకున్నా అర్థం కాలేదు.

రాత్రి వచ్చిన కలని గుర్తు తెచ్చుకోడానికి ఆ రోజు పగలంతా ప్రయత్నించాడు. అది తన జీవితంలోనే అతి దీర్ఘమైన రోజు అని చెప్పుకున్నాడు. అయితే అదృష్టవశాత్తు ఆ మర్నాడు రాత్రి కూడా అదే కల వచ్చిందట. ఈ సారి కల రాగానే ఊరికే ఏవో పిచ్చిగీతలు గీసి తిరిగి నిద్రలోకి జారుకోకుండా వెంటనే ప్రయోగశాలకి బయల్దేరాడు… అప్పటికప్పుడు ఆ ప్రయోగం చేసి చూద్దామని!

న్యూరాన్లు రసాయనాల సహాయంతో సంభాషించుకుంటాయి అని నిరూపించడం కోసం రెండు కప్ప గుండెలని తీసుకున్నాడు ఆటో లెవీ. రెండు గుండెలనీ వేరు వేరు జాడీలలో రింగర్ ద్రావకాలలో పెట్టి సజీవంగా ఉంచాడు. కప్ప గుండెని (మనిషి గుండెని కూడా) వేగస్ (vagus) అనే నాడి నియంత్రిస్తుంది. వేగస్ నాడిని ప్రేరేపించినప్పుడు గుండె లయ నెమ్మదిస్తుంది. లెవీ తీసుకున్న కప్ప గుండెలకి వేగస్ నాడులు తగిలించి వున్నాయి. వాటిలో ఒక జాడీ లో వున్న గుండెని విద్యుత్ పరంగా ప్రేరేపించి ఆ జాడీలో వున్న గుండె లయ నెమ్మదిస్తోందని నిర్ధారించుకున్నాడు. అప్పుడు ఆ జాడీ లోంచి కొంత ద్రావకం తీసి రెండో జాడీలో పోశాడు. అప్పుడు రెండవ జాడీలో వున్న గుండె నెమ్మదించడం కనిపించింది.

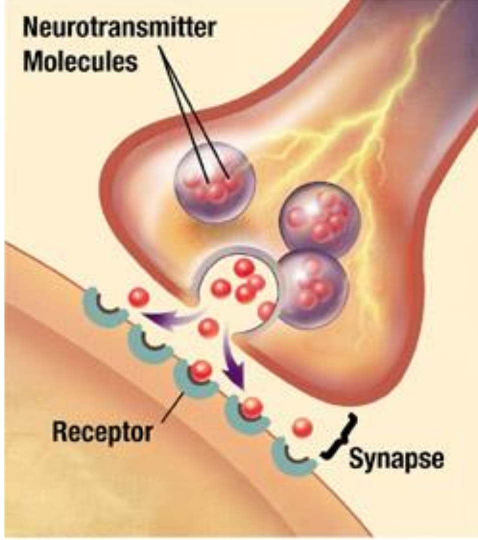


ఆటో లెవీ చేసిన 'రెండు గుండెల ప్రయోగం'

ఈ పరిణామానికి కారణం ఇలా వివరించొచ్చు. మొదటి గుండె యొక్క వేగస్ నాడిని ప్రేరేపించినప్పుడు ఆ నాడి నుండి ఏదో రసాయనం విడుదల పొందింది. ఆ రసాయన ప్రభావం వల్లనే ఆ గుండె నెమ్మదించింది. అయితే అలా విడుదల పొందిన రసాయనంలో కొంత భాగం ఆ గుండె వున్న ద్రావకంలోకి కూడా ప్రవేశించింది. అందుకనే ఆ ద్రావకాన్ని మాత్రం రెండవ జాడీ లోకి మార్చినప్పుడు ఆ ద్రావకంలోని రసాయన ప్రభావం వల్ల రెండవ జాడీలోని గుండె కూడా నెమ్మదించింది. ఆ విధంగా నాడీ ప్రభావాన్ని ఓ రసాయనం మోసుకుపోతుందని తెలిసింది.

తదనంతర కాలంలో న్యూరాన్లు విడుదల చేసే రసాయనాలకి న్యూరో ట్రాన్స్మిటర్ (neurotransmitter) అని పేరు పెట్టడం జరిగింది. అలాంటి రసాయనాలు ఎన్నో కనుక్కోబడ్డాయి. ఒక న్యూరాన్ విడుదల చేసిన న్యూరోట్రాన్స్మిటర్ అవతలి న్యూరాన్ మీద ఉండే రిసెప్టార్ అనే అణువు మీద ప్రభావం చూపుతుంది. ఆ

రిసెప్టారే న్యూరోట్రాన్స్ మిటర్ ని గురించగలదు. న్యూరోట్రాన్స్‌మిటర్ – రిసెప్టార్ల కలయిక వల్ల రిసెప్టార్ వున్న న్యూరాన్ లో విద్యుత్ చలనాలు పుడతాయి. ఆ విధంగా ఒక న్యూరాన్ మరో న్యూరాన్ మీద ప్రభావం చూపగలుగుతోంది. ఈ రసాయనిక సంభాషణా కార్యక్రమం అంతా రెండు న్యూరాన్లు కలిసే ఓ చిన్న సంధి స్థానం – దీన్ని సైనాప్స్ (synapse) అంటారు – వద్ద జరుగుతుంది అని తెలిసింది.



సైనాప్స్ వద్ద న్యూరోట్రాన్స్‌మిషన్

అయితే కొన్ని సైనాప్స్ ల వద్ద రసాయనాల ప్రమేయం లేకుండా నేరుగా విద్యుత్ ప్రవాహాల సహాయంతో సంభాషణలు జరుగుతాయని కూడా తరువాత తెలిసింది. అలాంటి సైనాప్స్ లని విద్యుత్ సైనాప్స్ లు (electrical synapses) అంటారు.

న్యూరాన్ల మధ్య రసాయన సంభాషణల గురించిన పరిశోధనల్లో పురోగాములైన ఆటో లెవీ మరియు హెన్రీ డేల్ అనే శాస్త్రవేత్తలకి నోబెల్ బహుమతి లభించింది. ఈ హెన్రీ డేల్ అసిటిల్కొలీన్ (acetylcholine) అనే న్యూరోట్రాన్స్ మిటర్ మీద ప్రప్రథమ ప్రయోగాలు చేశాడు. విద్యుత్ సైనాప్స్ ల మీద తొలి పరిశోధనలు చేసిన

సర్ జాన్ ఎక్లిస్ కి (Sir John Eccles) కూడా నోబెల్ పురస్కారం లభించింది. నాడీరసాయన శాస్త్రం (neurochemistry) మరియు నాడీ ఔషధ విజ్ఞానం (neuropharmacology) అనే విశాలమైన శాస్త్రాలలో ఈ తొలి శోధనలు పునాది రాళ్లు అయ్యాయి.

నాడీ వ్యాధులపై అధ్యయనాలు

విద్యుత్ రసాయన శాస్త్రం, నాడీ రసాయన శాస్త్రం మొదలైన శాస్త్రాలలో జరిగిన పురోగతి వల్ల న్యూరాన్ల మధ్య సంకేతాల మార్పిడి ఎలా జరుగుంది అన్న విషయం మీద ఎంతో అవగాహన పెరిగింది. అలాగే నాడీ రోగుల మీద జరిగిన అధ్యయనాల వల్ల కూడా ఎనలేని నాడీ విజ్ఞానం బట్టబయలు అయ్యింది. మెదడులో వివిధ విభాగాలు కలిసికట్టుగా పని చేస్తే ఒక వ్యక్తి యొక్క ప్రవర్తనని ఎలా శాసిస్తాయో తెలిసింది.

ఫ్రాన్స్ గాల్ రూపొందించిన ఫ్రీనాలజీ అనే కుహనా రంగం గురించి అంతకు ముందు విన్నాం. ఆ నాటి నుండి కూడా మెదడులో వివిధ అంగాలకి, మెదడు యొక్క వివిధ క్రియలకి మధ్య సంబంధం గురించి రెండు పరస్పర విరుద్ధ చలామణిలో ఉన్నాయి. ఆ రెండు సిద్ధాంతాలు నిర్ధారణ కోసం కొన్ని శతాబ్దాల పాటు పోటీ పడుతూ వచ్చాయి.

వీటిలో మొదటి సిద్ధాంతాన్ని 'ప్రాంతీయతా వాదం' (localization view) అంటారు. మెదడు యొక్క ప్రతీ క్రియకి ఓ ప్రత్యేక మెదడు ప్రాంతం బాధ్యత తీసుకుంటుందని ఈ వాదం చెప్తుంది. దీనికి విరుద్ధ సిద్ధాంతాన్ని 'సమగ్ర క్షేత్ర వాదం' (aggregate field view) అంటారు. మానవ ప్రవర్తనలోని ప్రతీ అంశం మీదా మెదడులోని అన్ని ప్రాంతాలు ఉమ్మడిగా ప్రభావం చూపిస్తాయని ఈ వాదం నమ్ముతుంది. అసలు ఫ్రీనాలజీయే ఒక విధంగా ప్రాంతీయతా వాదానికి ఒడంబడిన ఒక సిద్ధాంతం. ఎందుకంటే ఫ్రీనాలజీ ప్రకారం వివిధ మెదడు భాగాలు ప్రత్యేక మానవ లక్షణాలకి ప్రతినిధులు. కాని ఫ్రీనాలజీ ఒక వైజ్ఞానిక సిద్ధాంతం కాదు. ఎందుకంటే దానికి ఎలాంటి వాస్తవ ఆధారాలు లేవు. ఒక రకంగా అదొక మూఢనమ్మకం లాంటిది అనుకోవాలి.

ఇలా ఉండగా పందొమ్మిదవ శతాబ్దంలో ఫ్రాన్స్ కి చెందిన పియర్ ఫ్లోరెన్స్ అనే జీవక్రియాశాస్త్రవేత్త ఈ ప్రాంతీయతా వాదాన్ని ప్రయోగాత్మకంగా పరీక్షించదలచుకున్నాడు. ఆ ప్రయోగాల కోసం కొన్ని జంతువులని ఎంచుకున్నాడు. వాటి మెదళ్లలో వివిధ చోట్ల గాయాలు చేస్తూ వచ్చాడు. గాయ పడ్డ జంతువుల ప్రవర్తనలో మార్పులని సూక్ష్మంగా గమనించాడు. తన పరిశీలనల్లో అర్థమైనది ఏంటంటే మెదడులో గాయం ఎక్కడ అయ్యింది అన్నది అంత ముఖ్యం కాదు, గాయం యొక్క విస్తృతి ఎంత అన్నదే ముఖ్యం. గాయం ఎంత ఎక్కువగా ఉంటే ప్రవర్తనలో మార్పు అంత ప్రస్ఫుటంగా ఉంటుంది. అంటే మెదడులోని అంగాలన్నీ కలిసికట్టుగా జంతువు యొక్క ప్రవర్తనని శాసిస్తున్నాయన్నమాట. ఈ పరిశోధనలు 'సమగ్ర క్షేత్ర వాదం' ని సమర్థిస్తున్నట్టుగా అనిపించింది.

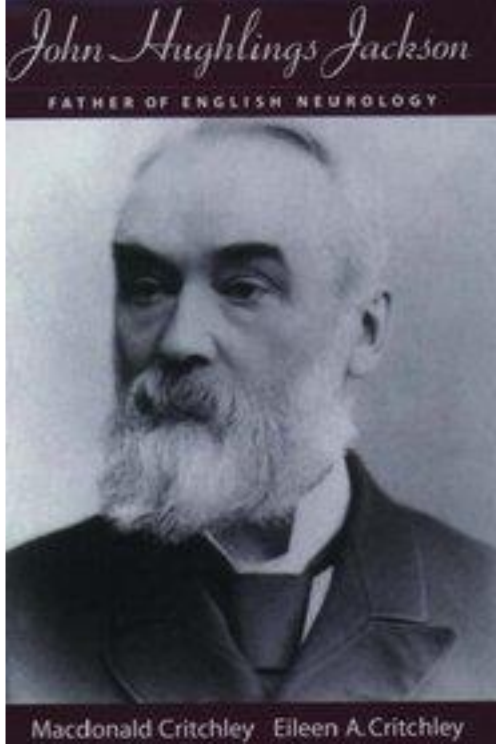
తదనంతరం ఇరవయ్యవ శతాబ్దపు తొలి దశల్లో కార్ల్ లాష్లే (Karl Lashley) అనే శాస్త్రవేత్త ఇంచుమించు ఇలాంటి ప్రయోగాలే చేశాడు. ఎలుకలకి చిక్కువ్యూహాల (maze) లోంచి తప్పించుకుని బయటపడే ఒడుపు ఉంటుంది. ఎంత తక్కువ సమయంలో అలాంటి చిక్కువ్యూహాల నుండి తప్పించుకోగలిగితే ఆ ఎలుక సామర్థ్యం అంత ఎక్కువ అన్నట్టుగా పరిగణించాడు లాష్లే. ఇప్పుడు ఆ ఎలుకల మెదళ్లలో కత్తితో సన్నని కోతలు కోశాడు. అలా కోసిన కోతల మొత్తం పొడవుకి, ఎలుకలు చిక్కువ్యాహాల నుండి తప్పించుకోడానికి పట్టే సమాయానికి మధ్య సంబంధాన్ని పరిశీలించాడు. ఆ ప్రయోగాల బట్టి అర్థమైనది ఏంటంటే మెదడులో కోతలు ఎక్కడ జరిగాయి అన్నది ముఖ్యం కాదు. మొత్తం కోతల పొడవు ఎంత, అంటే మొత్తం గాయం యొక్క విస్తృతి ఎంత, అన్నదే ఎలుక యొక్క సామర్థ్యాన్ని శాసిస్తుంది. గాయం ఎక్కడైనా అది ఎక్కువైతే అంత మేరకు ఎలుక సామర్థ్యం పడిపోతుంది. ఆ విధంగా లాష్లే ప్రయోగాలు కూడా సమగ్ర క్షేత్ర వాదాన్ని సమర్థిసున్నట్టు అనిపించింది.



చిక్కువ్యూహంలో ఎలుక

కాని మెదడు వ్యాధులకి సంబంధించిన కొన్ని పరిశీలనలు ఇందుకు భిన్నమైన కథ చెప్తున్నట్టు అనిపించింది.

బ్రిటిష్ న్యూరాలజిస్టు హ్యూగ్లింగ్స్ జాక్సన్ మూర్ఛ వ్యాధికి (epilepsy) చెందిన ఒక ప్రత్యేక లక్షణాన్ని అధ్యయనం చేసేవాడు. ఎపిలెప్సీ వ్యాధి వున్న రోగుల్లో కొన్ని సమయాలలో ఉన్నట్లుండి శరీరం వశం తప్పి, ఒంటి మీద స్పృహ కోల్పోయి, గిలగిలా తన్నుకుంటూ కింద పడిపోవడం జరుగుతుంది. అలాంటి పరిణామం కలగడానికి కారణం మెదడులోని నాడీ విద్యుత్ చర్య అడ్డు అదుపు లేకుండా వ్యాపించడమే. ఓ కార్చిచ్చులా ఇలాంటి నాడీ విద్యుత్ చర్య ఒక ప్రత్యేక స్థానం నుండి మొదలై మెదడులో ఇరురుగు పొరుగు ప్రాంతాలకి వ్యాపిస్తుంది. అయితే జాక్సన్ కాలంలో మూర్ఛ వచ్చినప్పుడు మెదడులో ఏం జరుగుతోంది అన్న విషయం మీద పెద్దగా అవగాహన ఉండేది కాదు. బయటికి కనిపించే తంతు మాత్రమే తెలిసేది. మూర్ఛ వచ్చినప్పుడు శరీరంలో కనిపించే కంపన (seizure) కూడా ఒక ప్రత్యేక తరహాలో వ్యాపిస్తుంది. ముందుగా కంపన చేతిలో మొదలవుతుంది. నెమ్మదిగా మణికట్టుకి, తరువాత మోచేతికి, అక్కణ్ణుంచి భుజానికి వ్యాపించి, క్రమంగా శరీరం మొత్తాన్ని వశం చేసుకుంటుంది. ఒళ్ళంతా గిలగిల కొట్టుకోవడం వల్లతగు జాగ్రత్తలు తీసుకోకపోతే మనిషి తూలి కింద పడడం జరుగుతుంది. ఇలాంటి కంపనలని focal motor seizures అంటారు.

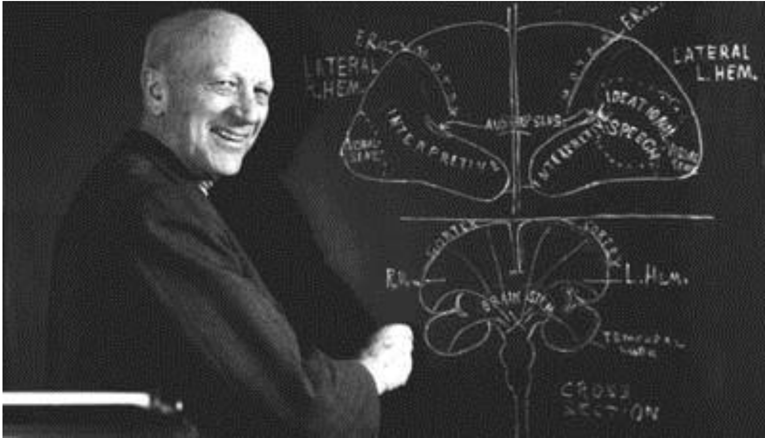


హ్యూగ్లింగ్స్ జాక్సన్

Focal motor seizures ని అధ్యయనం చెయ్యడం మొదలెట్టిన జాక్సన్ కంపన జరుగుతున్నప్పుడు మెదడులో ఏం జరుగుతోందో ఒక ఊహ కలగసాగింది. శరీరంలో వివిధ అంగాల లోని కదలికలని మెదడులో వివిధ ప్రాంతాలు శాసిస్తాయని ముందుగా ఊహించాడు. అంతే కాక పక్క పక్కగా వున్న అంగాలని అదిలించే మెదడు ప్రాంతాలు కూడా పక్క పక్కగా వుండి వుండాలని ఊహించాడు. ఉదాహరణకి చేతిని శాసించే ప్రాంతం పక్కనే మణికట్టుని శాసించే ప్రాంతం ఉండాలి. ఆ పైన మోచేతి ప్రాంతం. దాని అవతల భుజాన్ని శాసించే ప్రాంతం... మెదడులో వివిధ ప్రాంతాల అమరిక అలా వున్నప్పుడు, ఏ కారణం చేతనో చేతిని శాసించే ప్రాంతంలో అసాధారణ రీతిలో నాడీ విద్యుత్ చర్య మొదలయ్యింది అనుకుందాం. ఆ చర్య ఓ కార్చిచ్చులా పక్కనే వున్న మణికట్టుని శాసించే ప్రాంతానికి వ్యాపిస్తుంది. ఆ తరువాత భుజాన్ని శాసించే ప్రాంతానికి వ్యాపిస్తుంది. అలా వ్యాపించి వ్యాపించి మొత్తం శరీరాన్ని శాసించే ప్రాంతాలన్నిటీ ఆక్రమిస్తుంది. అప్పుడు శరీరం అంతా కంపనకి లోనవుతుంది.

జాక్సన్ ఊహించిన వర్ణన నిజమే అయితే మెదడులో ఫలానా చోట మొత్తం శరీరాన్ని శాసించే ఓ 'మ్యాపు' లాంటిది వుండాలన్నమాట. ఓ కంప్యూటర్ కీబోర్డ్ లో ఒక్కొక్క బటన్ ని నొక్కితే తదనుగుణమైన అక్షరం స్క్రీన్ మీద కనిపించినట్టు, మెదడులో వున్న ఈ మ్యాపుని ప్రత్యేక స్థానాల్లో ఉత్తేజపరిస్తే ఆ స్థానానికి అనుగుణమైన అంగంలో చలనం ఏర్పడుతుంది. మరి నిజంగానే మెదడులో అలాంటి మ్యాపులు వున్నాయా?

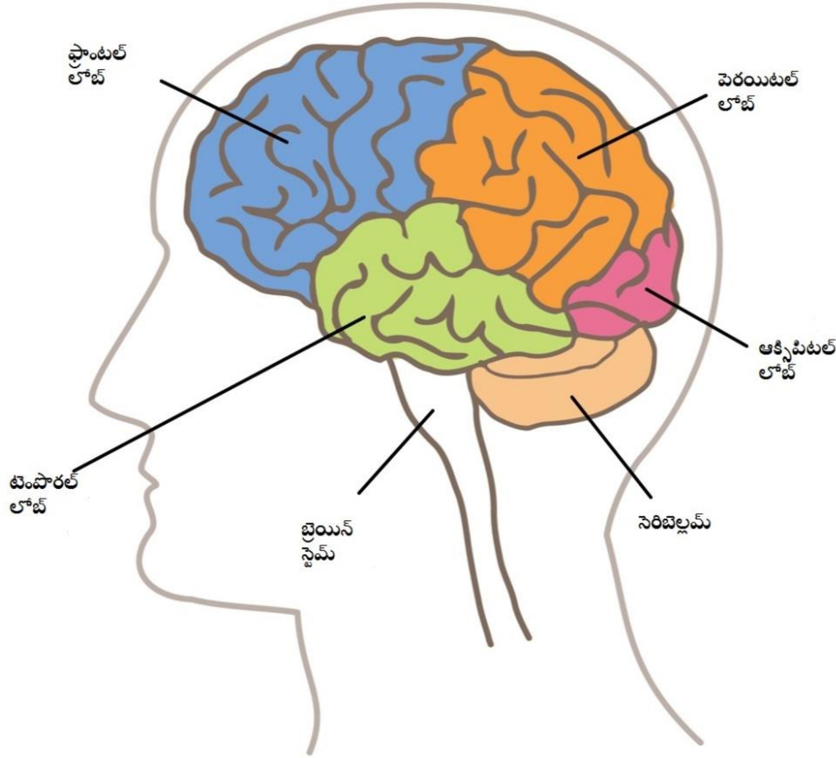
ఈ ప్రశ్నకి మొట్టమొదటి సమాధానాలు మనకి కెనడాకి చెందిన విల్డర్ పెన్ ఫీల్డ్ (Wilder Penfield) అనే న్యూరో సర్జన్ అధ్యయనాల నుండి బయట పడ్డాయి. 1950 లలో పెన్ ఫీల్డ్ ఎపిలెప్సీ వ్యాధిని నయం చేసే పద్ధతుల కోసం అన్వేషిస్తున్నాడు. వృత్తి రీత్యా సర్జన్ కనుక సర్జరీతో ఆ వ్యాధిని నయం చేసే మార్గాల కోసం వెతకసాగాడు. ఎపిలెప్సీలో సీజర్ మొదలైనప్పుడు మెదడులో ఒక ప్రత్యేక స్థానం నుండి అసాధారణమైన నాడీ విద్యుత్ చర్య మొదలవుతుంది అని పైన చెప్పుకుందాం. ఆ స్థానాన్నే నాభి (focus) అంటారు. ఆ నాభి ఎక్కడుందో పట్టుకుని, సర్జరీ ద్వారా ఆ ప్రాంతాన్ని నాశనం చేస్తే, లేదా తొలగిస్తే వ్యాధి లక్షణాలు అరికట్ట వచ్చని పెన్ ఫీల్డ్ ఆలోచన.



విల్డర్ పెన్‌ఫీల్డ్

ఎపిలెప్టిక్ రోగి సీజర్ కి గురి అయ్యే క్షణం వరకు ఎదురు చూడకుండా ముందే, కపాలంలో సర్జరీ ద్వారా రంధ్రం చేసి, మెదడులో సంబంధిత ప్రాంతాలని బట్టబయలు చేసి, వివిధ స్థానాలకి విద్యుత్ ప్రేరణ ఇస్తే ఏం జరుగుతుందో పరిశీలించాడు పెన్ ఫీల్డ్. ఎపిలెప్టిక్ నాభి వద్ద ముందే పరిస్థితి విషమంగా వుండడం వల్ల, ఆ స్థానంలో విద్యుత్ ప్రేరణ ఇవ్వగానే, ఊహించినట్టుగానే రోగిలో సీజర్ మొదలయ్యింది. ఆ స్థానానికి పరిసర ప్రాంతాలని సర్జరీ ద్వార తొలగించినప్పుడు ఎన్నో సందర్భాలలో వ్యాధి లక్షణాలు మెరుగుపడ్డాయి.

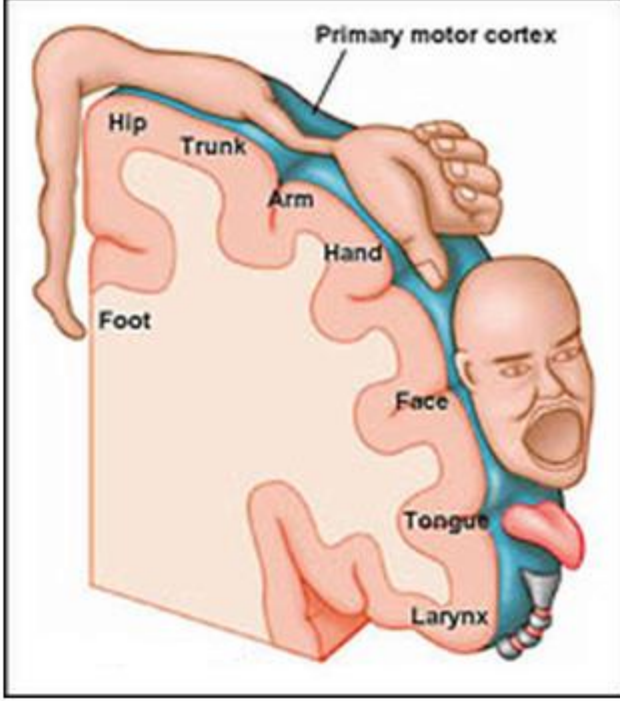
ఎపిలెప్సీ చికిత్స లక్ష్యంగా గల పెన్ ఫీల్డ్ అధ్యయనాల వల్ల, వాధికి ఒక చికిత్సామార్గం కనిపించడమే కాక, అనుకోకుండా మరో అధ్భుతమైన విషయం కూడా బయటపడింది.



పెన్‌ఫీల్డ్ ప్రయోగాల గురించి చెప్పుకోబోయే ముందు మెదడులో కొన్ని ముఖ్యమైన విభాగాల గురించి చెప్పుకోవాలి. మెదడు కుడి, ఎడమ గోళార్థాలుగా (cerebral hemispheres) విభజింపబడి వుంటుందని ఇంతకు ముందే అనుకున్నాం. భూమి మీద భూభాగం అంతా ఖండాలుగా విభజించబడినట్టుగా, ఒక్కొక్క గోళార్థం కొన్ని ఖండాలుగా విభజించబడి వుంటుంది. వీటిని lobes అంటారు. ఒక్కొక్క గోళార్థంలో నాలుగు లోబ్ లు ఉంటాయి. నుదుటికి దగ్గరగా, మెదడు ముందుభాగంలో ఉండే లోబ్, ఫ్రాంటల్ లోబ్ (frontal lobe).

కాస్త వెనక్కి వస్తే (పైన చిత్రంలో) కుడి పక్కన, పైభాగంలో ఉండే లోబ్ 'పెరయిటల్ లోబ్.' దాని కింద వున్నది 'టెంపొరల్ లోబ్.' పెరయిటల్ లోబ్ కి, టెంపొరల్ లోబ్ కి వెనుకన వున్న చిన్న లోబ్ ఆక్సిపిటల్ లోబ్. ఈ నేపథ్యంతో ఓసారి పెన్‌ఫీల్డ్ ప్రయోగాలు పరిశీలిద్దాం.

విద్యుత్ ప్రేరణలకి మెదడు ఎలా స్పందిస్తుంది అన్న విషయంలో విల్డర్ పెన్ ఫీల్డ్ చేసిన అధ్యయనాలలో ఓ ముఖ్యమైన సత్యం బయటపడింది. మెదడులో క్రియల విస్తరణ ఎలా ఉంటుందో తెలిపే అతి ముఖ్యమైన సత్యమది. మెదడులో ప్రత్యేక ప్రాంతాలు ప్రత్యేక శారీరక క్రియలని నిర్వర్తిస్తున్నాయని పెన్ ఫీల్డ్ గుర్తించాడు. ఉదాహరణకి 'కదలిక' అనే క్రియనే తీసుకుంటే శరీరంలో కుడి భాగాన్ని మెదడులో ఎడమ భాగం శాసిస్తుంది. అంతే కాక చేతి వేళ్లని ఒక ప్రాంతం శాసిస్తే, మోచేతిని మరో ప్రాంతం, అలాగే పాదాన్ని మరో ప్రాంతం ఇలా వివిధ మెదడు ప్రాంతాలు శరీరంలో వివిధ భాగాలని కదిలిస్తాయి. శరీరంలో కదలిక పుట్టించే మెదడు భాగాలన్నీ జాక్సన్ ఊహించినట్టుగానే పక్కపక్కనే ఉంటాయి. ఒక కంప్యూటర్ కీబోర్డ్ మీద ఒక్కొక్క కీని నొక్కితే తదనుగుణమైన అక్షరం కంప్యూటర్ స్క్రీన్ మీద కనిపించినట్టు, మోటార్ కార్టెక్స్ (motor cortex)లో ఒక్కొక్క ప్రాంతాన్ని విద్యుత్తుతో ప్రేరణ ఇస్తే, తదనుగుణమైన కదలిక శరీరంలో కనిపిస్తుంది. (ఈ మోటార్ కార్టెక్స్ ఫ్రొంటల్ లోబ్ లో, పెరయిటల్ లోబ్ కి సన్నిహితంగా ఉంటుంది.) అంటే మొత్తం శరీరానికి ఒక 'మ్యాపు' లాంటిది ఈ మోటార్ కార్టెక్స్ లో ఇమిడి వుందన్నమాట. ఈ మ్యాపు యొక్క ఉజ్జాయింపు చిత్రాన్ని కింద చూడవచ్చు.



వాస్తవంలో మోటార్ మ్యాపులు మరింత సంక్లిష్టంగా వుంటాయి. ఈ మ్యాపులో కొంత వైరూప్యంగా ఉన్నా, ఒక విధమైన మానవాకారం కనిపిస్తోంది. మెదడులో వుంటూ శరీరాన్ని అదిలిస్తున్న ఈ మానవాకార మ్యాపుకి homunculus అని పేరు పెట్టారు. Homunculus అంటే బుల్లి మానవుడు అని అర్థం. అయితే శరీరం లోని వివిధ భాగాలకి, వాటిని అదిలించే ఈ మ్యాపు లోని తత్సంబంధమైన ప్రాంతాలకి మధ్య సమ నిష్పత్తి లేదని గుర్తించాలి. ఉదాహరణకి మెదడులో చేతిని, పెదాలని కదిలించే ప్రాంతాలు కాస్త విశాలంగా ఉంటాయి. కాని భుజాన్ని కదిలించే ప్రాంతం కాస్త చిన్నగా ఉంటుంది. ఈ తేడాల దృష్ట్యా, అరిటాకులంత అరచేతులతో, సన్నని చిన్న భుజాలతో, శరీరాన్ని కదిలించే ఈ బుల్లిమానవుణ్ణి ఈ కింద కనిపించే చిత్రంలోని చిత్రమైన బొమ్మలతో వ్యక్తం చెయ్యడం పరిపాటి అయ్యింది.



బుల్లి మానవుడు - హోమంక్యులస్

అలాగే టెంపొరల్ లోబ్ కి చెందిన కొన్ని ప్రాంతాలని ఉత్తేజపరిచినప్పుడు ఆ వ్యక్తికి ఎప్పుడో విన్న శబ్దాలు, పాటలు మళ్లీ వినిపించాయట. అయితే కొన్ని ప్రత్యేక బిందువుల వద్ద ఉత్తేజపరిచినప్పుడు మాత్రమే శబ్దాలు వినిపించాయి. పెన్ ఫీల్డ్ మరియు అతడి సహచరుల బృందం ఆ బిందువులని అంకెలతో సూచించారు. ప్రత్యేక అంకెలు గల బిందువుల వద్ద ఉత్తేజపరిచినప్పుడు ప్రత్యేక శబ్దాలు వినిపించాయి. సుమారు మూడు దశకాల కాలంలో, వెయ్యికి పైగా ఇలాంటి శస్త్రచికిత్సలు చేసిన పెన్ ఫీల్డ్ బృందం, వాటిలో కొన్ని ఆసక్తికరమైన కేసులని విపులంగా గ్రంథస్థం చేసింది. ఉదాహరణకి బిందువు #23 ని ఉత్తేజపరిచినప్పుడు ఒక వ్యక్తికి white Christmas అనే పాట వినిపించింది. మరో పేషెంట్ కి ఎప్పుడు సీజర్ వచ్చినా 'hush-a-bye, my baby' అనే చర్చి పాట వినిపించేది. అదే వ్యక్తికి టెంపొరల్ లోబ్ లో ఉత్తేజపరిచినప్పుడు సంగీతం వినిపించింది. కొంత మంది అయితే ఏదో సంగీతం వినిపిస్తోంది అంటారు గాని, అదేంటో స్పష్టంగా చెప్పలేకపోతారు. ఉదాహరణకి అలాంటి 'మెదడు సంగీతం' విన్న ఒక స్త్రీ - "అదేదో చిత్రంగా వుంది. జోలపాట కాబోలు... అప్పుడప్పుడు రేడియోలో వస్తుంటుంది... ఏదో పిల్లల ప్రోగ్రాంలో ఈ పాట వస్తుంది అనుకుంటా" అంది. మరో పేషెంట్ విషయంలో ఆమె తల్లి, తండ్రి కలిసి ఏదో మాట్లాడుకుంటున్నట్టు, మాటల మధ్యలో ఏవో క్రిస్మస్ కారొల్స్ పాడుకుంటున్నట్టు అనిపించింది. మెదడు పొరల్లో గత స్మృతులు ఎలా దాగి వుంటాయో తెలిపే అద్భుత ప్రప్రథమ ప్రయోగాలివి.

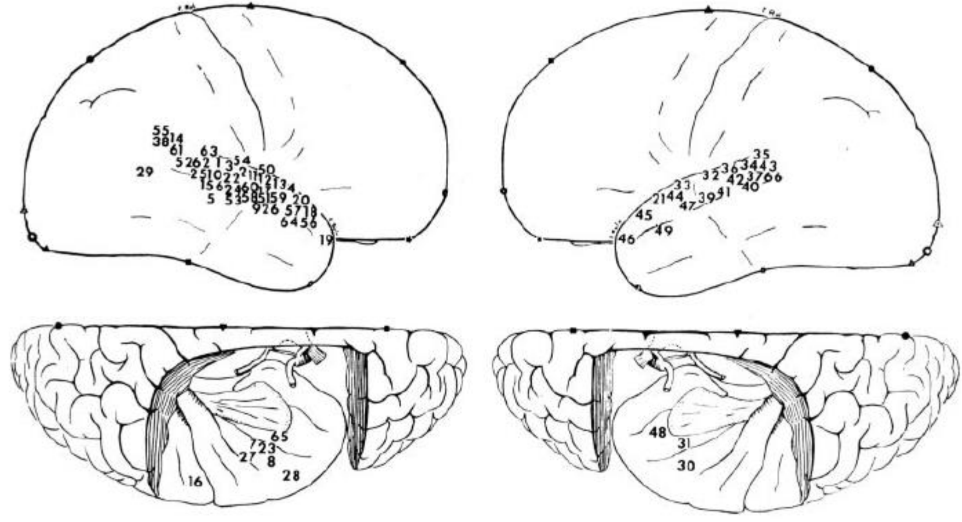


Fig. 1 Auditory experiential responses to stimulation.

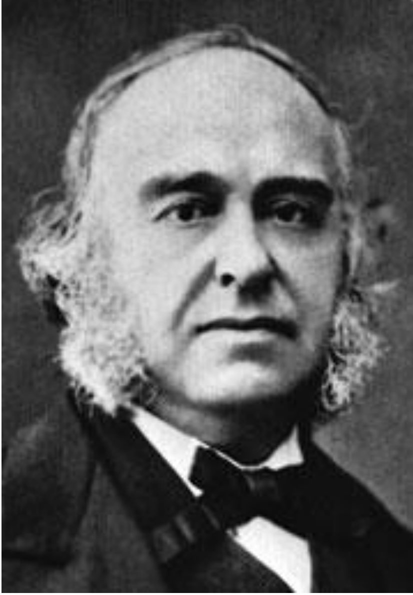
మెదడులో శబ్దాలు ఎక్కడ దాగివున్నాయో తెలుపుతూ పెన్ఫీల్డ్ గీసిన మ్యాపులు

ఆ విధంగా విల్డర్ పెన్ ఫీల్డ్ అధ్యయనాల వల్ల మెదడులో సమాచారం మ్యాపుల రూపంలో ఎలా ఏర్పాటై వుందో తెలిసింది. ఆ మ్యాపులలో ప్రత్యేక భాగాలు, శరీరంలో ప్రత్యేక భాగాలని శాసించినడం వల్ల పెన్ ఫీల్డ్ అధ్యయనాలు ప్రాంతీయతా వాదాన్నే సమర్ధిస్తున్నట్టు అనిపించింది.

ప్రాంతీయతా వాదాన్ని సమర్ధించే మరి కొన్ని ఆధారాలు వాగ్దోషాల అధ్యయనాలలో బయటపడ్డాయి. వాగ్దోషం అంటే మాట్లాడడంలో దోషం అన్నమాట. దీనికి వైద్య నామం 'అఫేషియా' (aphasia). పందొమ్మిదవ శతాబ్దం చివరి భాగంలో ఫ్రెంచ్ న్యూరాలజిస్ట్ పాల్ బ్రోకా (Paul Broca) చేసిన అధ్యయనాలలో మెదడులో వచ్చే సమస్యల వల్ల అఫేషియాలు ఎలా కలుగుతాయో మొట్టమొదటి సారిగా తెలిసింది. బ్రోకా అధ్యయనం చేసిన ఒక ప్రత్యేక రకమైన అఫేషియా గల రోగులకి పూర్తి వాక్యాలని నిర్మించి మాట్లాడడం సాధ్యపడేది కాదు. మామూలు మనుషుల మాటలలో లాగా వాక్యంలోని పదాలు సాఫీగా ప్రవహించవు. వాక్యాన్ని విరిచేసినట్టు పదాలు ఆగాగి, ఒక్కొటొక్కటిగా బయటికొస్తాయి. ఆ పదాలు కూడా సగానికి సగం ఆవిరైపోతాయి. వాక్యంలో ఎక్కువ నామవాచకాలు, విశేషణాలే ఉంటాయి. క్రియా వాచకాలు ఎగిరిపోతాయి. ఉదాహరణకి ఒక రోగి తన

కొడుకు చాలా తెలివైనవాడని, యూనివర్సిటీలో చదువుకుంటున్నాడనీ చెప్పబోతే తన నోటివెంట వెలువడ్డ పదాలివి: “Son… university…smart…boy.” (కొడుకు… యూనివర్సిటీ… తెలివైన… కుర్రాడు.”) దోషం బాగా విపరీతంగా ఉన్న పరిస్థితుల్లో రోగి ఒక్క పదం కూడా పలకలేకపోవచ్చు.

బ్రోకా తన అధ్యయనాలు ‘టాన్’ అనే చిత్రమైన పేరు గల ఓ రోగితో మొదలుపెట్టాడు. అది ఆ రోగి అసలు పేరు కాదు. ఆ వ్యక్తి పలకగల ఒకే ఒక శబ్దం – ‘టాన్.’ అదే అతడి సార్థక నామం అయిపోయింది! ఇలాంటి రోగులలో స్వరపేటిక బాగానే ఉంటుంది. సమస్య అక్కడ లేదు. సమస్య మెదడులో వుంది. ఈ రోగుల మరణానంతరం పోస్ట్ మార్టమ్ చేసి మెదడుని విశ్లేషించగా తేలినది ఏంటంటే వాళ్లందరిలోను మెదడులో ఒక ప్రత్యేక ప్రాంతంలో దోషం వుంది. ఆ దోషం ఎక్కడ ఉండేది ఆ వ్యక్తి చేతివాటం మీద ఆధారపడుతుంది. సామాన్యంగా కుడి చేతి వాటం గల రోగుల్లో ఆ దోషం మెదడులో ఎడమ గోళార్థంలో కనిపిస్తుంది. మెదడులో ఆ ప్రాంతమే మనిషిలో వాక్కుని శాసించే ప్రాంతం అని తదనంతరం జరిగిన అధ్యయనాలలో తెలిసింది. ఆ ప్రాంతం యొక్క ప్రత్యేకతని బ్రోకా కనుక్కున్నాడు కనుక దానికి అతడి గౌరవార్థం ‘బ్రోకా ప్రాంతం’ అని పేరు పెట్టారు.



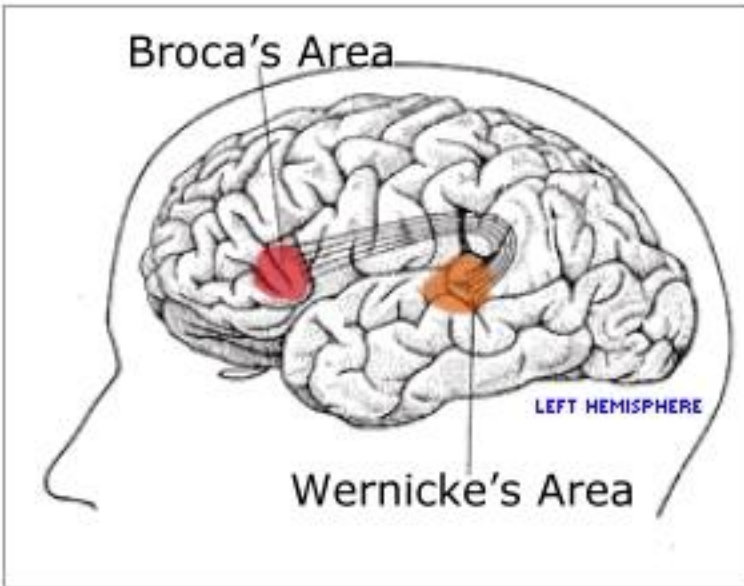
పాల్ బ్రోకా

బ్రోకా కనుక్కున్న అఫేషియా లాంటిదే కాని అందుకు పూర్తిగా విరుద్ధమైన దోషం కూడా ఒకటి వుందని తరువాత తెలిసింది. ఆ దోషాన్ని మొట్టమొదట అధ్యయనం చేసిన వాడు కార్ల్ వెర్నికీ అనే జర్మన్ నిపుణుడు. ఇతడు వైద్యుడే కాక మనస్తత్వ శాస్త్రవేత్త కూడా. వెర్నికీ అధ్యయనం చేసిన రోగులు స్పష్టంగా, ధారాళంగా మాట్లాడగలిగేవారు. కాని చిక్కేంటంటే ఆ మాటలకి అర్థంపర్థం ఉండేది కాదు! రోగం తీవ్రతని బట్టి వాక్కులో దొర్లే దోషాలలో కూడా హెచ్చుతగ్గులు ఉంటాయి. దోషం మరీ విపరీతంగా లేని వారిలో మాట్లాడుతున్నప్పుడు అక్కడక్కడ రోగి కొన్ని పదాలు మింగేస్తూ మాట్లాడొచ్చు. వీరిలో కూడా రోగం తీవ్రతను బట్టి వాగ్దోషంలో తేడాలు ఉండొచ్చు. తీవ్రత తక్కువగా ఉన్న వారిలో అక్కడక్కడ పదప్రయోగంలో పొరబాట్లు జరిగితే, రోగం ముదిరిన వారిలో "ఒక్క మాట అర్థమైతే ఒట్టు" అనే స్థాయిలో వాగ్దోషం ఉండొచ్చు. వెర్నికీ కనుక్కున్న ఈ అఫేషియాకి వెర్నికీ అఫేషియా అని పేరు వచ్చింది. ఈ రకమైన అఫేషియా వున్న వారు ఉదాహరణకి ఈ రకంగా మాట్లాడొచ్చు: "నేను టెలిఫోన్ చూస్తుండగా టిఫిన్ వస్తే అందుకుని మాట్లాడాను." సామాన్య వ్యవహారాలలో ఎవరైనా కాస్త తలతిక్కగా మాట్లాడితే "ఆయన ఏం మాట్లాడుతున్నాడో ఆయనకే తెలీదూ!" అని అనుకుంటూ ఉంటాము. ఆ వర్ణన వెర్నికీ అఫేషియా రోగులకి సరిగ్గా అతుకుతుంది! కాని విచిత్రం ఏంటంటే వాళ్లు పలుకుతున్న వాక్యాలు పూర్తిగా దోషపూరితమై వున్నాయని వారికి మనసులో ఓ మూల తెలుస్తూనే ఉంటుంది. కాని దాన్ని నిగ్రహించుకోగల శక్తి వారికి ఉండదు. బ్రోకా ఆఫేషియాలో దోషం భాషా ప్రకటనలో (expression) ఉంటే, వెర్నికీ అఫేషియాలో దోషం భాషా గ్రహణంలో (reception) ఉంటుంది. పోస్ట్ మార్టమ్ అధ్యయనాలలో ఈ రోగం గల వారి మెదళ్లలో దోషం పెరయిటల్ విభాగంలో కింది భాగంలో (inferior parietal) ఉంటుందని తెలిసింది. బ్రోకా అఫేషియాలో లాగానే కుడి చేతివాటం గల వారిలో అధికశాతం ఈ దోషం మెదడులో ఎడమ గోళార్థంలో ఉన్నట్టు తెలిసింది.



కార్ల్ వెర్నికీ

మెదడులో ప్రత్యేక ప్రాంతాలలో ఉండే దోషాల బట్టి రెండు రకాల వాగ్దోషాలు ఏర్పడతాయని చూశాం. ఈ రెండు రకాల వాగ్దోషాలకి సంబంధం వున్న మూడో రకం వాగ్దోషం ఒకటి వుంది. దాన్ని ప్రసార వాగ్దోషం (conduction aphasia) అంటారు. ఈ ప్రసార వాగ్దోషం గల వారు వారికి వినిపించిన భాషా శబ్దాలని చక్కగా అర్థం చేసుకోగలుగుతారు. అనర్గళంగా మాట్లాడగలుగుతారు కూడా. కాని విన్న మాటలని తిరిగి అనమంటేసే చిక్కు! వారంతకి వారు అనర్గళంగా మాట్లాడగలరు కనుక వారిలో బ్రోకా ప్రాంతం చెక్కుచెదరకుండా ఉండాలి. విన్న వాక్యాన్ని అర్థం చేసుకోగలరు కనుక వెర్నికీ ప్రాంతం కూడా సురక్షితంగా ఉండాలి. విన్న వాక్యాన్ని తిరిగి పలకాలంటే ఆ వాక్యాన్ని అర్థం చేసుకున్న వెర్నికీ ప్రాంతానికి, వాక్యాన్ని పైకి పలకగల బ్రోకా ప్రాంతానికి మధ్య సంబంధం ఉండాలి. వెర్నికీ ప్రాంతం నుండి బయల్దేరిన సమాచారం బ్రోకా ప్రాంతాన్ని చెక్కుచెదరకుండా చేరుకోవాలి. అంటే రెండిటినీ కలిపే నాడీ తీగలు సురక్షితంగా ఉండాలి. కాని ప్రసార వాగ్దోషంలో సరిగ్గా ఆ నాడీతీగలే నాశనమై ఉంటాయి.



ఎడమ గోళార్థంలో బ్రోకా ప్రాంతం, వెర్నికీ ప్రాంతం

పైన చెప్పుకున్న ఉదాహరణలు చూస్తుంటే మెదడులో క్రియల విస్తరణలో ఒక విధమైన విభాజనీయత(modularity) స్పష్టంగా కనిపిస్తుంది. ప్రత్యేక మెదడు ప్రాంతాలలో ప్రత్యేక క్రియలు జరుగుతాయని అర్థమవుతుంది. వాక్కుని పుట్టించేది ఒక ప్రాంతం అయితే, వాక్కుని గ్రహించేది మరో ప్రాంతం. ఈ రెండు ప్రాంతాల మధ్య ఒక సంధి ఉంటేనే విన్న వాక్కుని ప్రకటించడానికి వీలవుతుంది. ఇలాంటి ఉదాహరణలన్నీ క్షుణ్ణంగా పరిశీలించిన వెర్నికీ ఒక నిర్ణయానికి వచ్చాడు.

మెదడు క్రియలు "స్థానికమా – సార్వత్రికమా?" అన్న విషయం గురించి శతాబ్దాలుగా చెలరేగిన వివాదానికి పరిష్కారం అతడి మనసులో రూపుదేలసాగింది. చిన్న చిన్న ప్రత్యేక క్రియలు మెదడులో ఒక చిన్న, ప్రత్యేక ప్రాంతానికే పరిమితమై వుంటాయి. కాని మరింత ఉన్నతమైన, పై స్థాయికి చెందిన క్రియలని మెదడులో పలు ప్రాంతాలు కలిసికట్టుగా పని చేస్తూ నిర్వర్తిస్తాయి. మెదడు చరిత్రలో మొట్టమొదటి సారిగా వెర్నికీ "మెదడు ప్రాంతాల" నుండి దృష్టి మళ్లించి మెదడులో "సంధు"ల (connections) మీదకి సారించాడు. మెదడు క్రియలని అర్థం చేసుకోవాలంటే వివిధ మెదడు ప్రాంతాల కన్నా వాటి మధ్య 'కనెక్షన్ల'కి మరింత ప్రాముఖ్యత నివ్వాలని అతడు అర్థం చేసుకున్నాడు.

వెర్నికీ వెలిబుచ్చిన ఈ భావజాలమే ఓ శతాబ్దం అనంతరం కనెక్షనిజమ్ (connectionism) అనే ఓ కొత్త నాడీశాస్త్ర ఉద్యమానికి ఊపిరి పోసింది. ఆ ఉద్యమం లోంచి న్యూరల్ నెట్వర్క్స్ (neural networks) అనే ఓ కొత్త గణిత సిద్ధాంతం జన్మించింది. మెదడుని అర్థం చేసుకోడానికి, మెదడు క్రియలని వర్ణించడానికి అవసరమైన గణిత భావాలని, వీలైన పరిభాషని, పోలిక చేత అర్థం చేసుకోడానికి ఒక తీరైన ఉపమానాన్ని ఈ గణిత సిద్ధాంతం మనకి ప్రసాదించింది.

మనస్తత్వ శాస్త్రం (Psychology)

ఇంతవరకు శాస్త్రవేత్తలు వివిధ మెదడు లక్షణాల గురించి ఎలా కనుక్కున్నారో చర్చిస్తూ వచ్చాం. న్యూరాన్లు అంటే ఏమిటి? అవి ఎలా ఉంటాయి? వాటి మధ్య సంధులు ఎలా ఉంటాయి? అవి ఒక దాని మీద ఒకటి రసాయనాలు చల్లుకుంటూ ఎలా సంభాషించుకుంటాయి? వివిధ మెదడు ప్రాంతాల క్రియలేంటి? మొదలైనవి అన్నీ ఏకరువు పెట్టుకుంటూ వచ్చాం. ఈ అంశాల్లో ఒక్కొక్క దాని గురించి చెప్పాలంటే ఎంతో వుంది. కాని ఇంతవరకు మనం చూసింది కేవలం ఒక సంక్షిప్తమైన చారిత్రక వృత్తాంతం మాత్రమే. కాని పైన చెప్పుకున్న అంశాల గురించి కోటి వివరాలు గుప్పించినా కూడా, మెదడులో అణువణువుని ఎంత వివరంగా వర్ణించినా కూడా, పాఠకులకి అది అంతగా ఆసక్తి కలిగించకపోవచ్చు. ఎందుకంటే సామాన్యంగా ఒక వ్యక్తి మెదడు

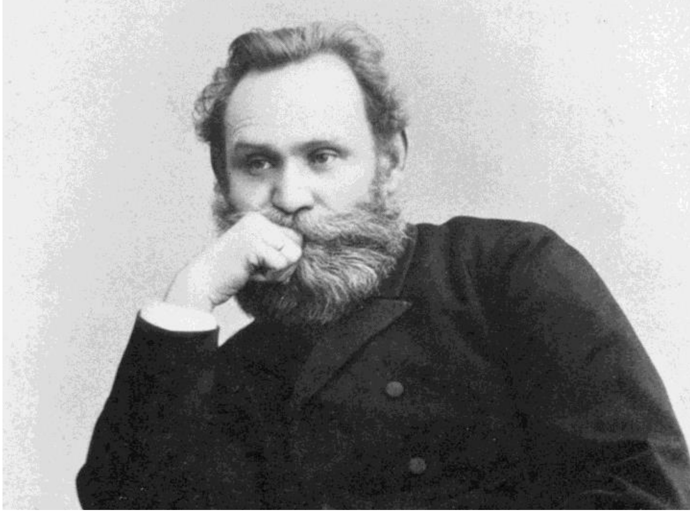
గురించి తెలుసుకోగోరేది అందులోని అంగాంగ నిర్మాణం గురించో, లేక విద్యుత్ రసాయన చర్యల విలక్షణ వ్యవహారాల గురించో తెలుసుకోడానికి కాదు. మెదడు అనే ఈ విచిత్రమైన అవయవం మన మనోప్రపంచాన్ని ఎలా సృష్టిస్తోందో తెలుసుకోవడం కోసమే మనుషులు సామాన్యంగా మెదడు గురించి తెలుసుకోగోరుతారు. మన ఆలోచనలు, ఆవేదనలు, అనుభూతులు, అపోహలు - ఇలా మొత్తం మన అంతర్యంలోని అంశాలన్నిటినీ మెదడు ఎలా అదిలిస్తోందో తెలుసుకోగోరుతారు. మనం ఓ కొత్త భాషని తెలుసుకునే ప్రయత్నం చేస్తున్నప్పుడు మన మెదడులో ఏం జరుగుతుంది? పరీక్షకి ముందురాత్రి ఎన్ని మానసిక కవాతులు చేసినా సరిగ్గా పరీక్షా సమయంలో మన గుర్తు తెచ్చుకోదలచిన అంశం సబ్బుబిళ్లలా ఎందుకు చేజారిపోతుంది? మెదడు వల్ల సంగీతాన్ని ఎలా ఆస్వాదించగలుగుతాం? కవిత్వం ఎలా రాయగలుగుతాం? ఎలా జీవించగలుగుతాం?... ఇలాంటి గంభీరమైన, లోతైన ప్రశ్నల సమాధానాలు తెలుస్తాయేమో నన్న ఆశతో మెదడు గురించి అర్థం చేసుకోడానికి బయల్దేరుతాం.

మానసిక జీవనం, అంతర్యం, ఆలోచనలు, తపనలు మొదలైన విషయాలని ప్రస్తావించినప్పుడు మనం మనస్తత్వ శాస్త్ర పరిధిలోకి వచ్చేశాం. ఈ రంగంలో మన మానసిక జీవన అంశాలైన ఆలోచనలు, తలంపులు, చివరికి కలలు కూడా వాస్తవ విషయాలు అన్నట్టుగా పరిగణించి అధ్యయనం చెయ్యడం జరుగుతుంది. కాని ఆంతరిక అంశాల అధ్యయనాల మీద నాడీశాస్త్రం ఓ కఠోరమైన నియమావళిని విధిస్తుంది. శాస్త్రీయ అధ్యయనం అదేది కొన్ని నియమాలని అనుసరించి జరగాలని ఒత్తిడి చేస్తుంది. అలా ఒట్టు పెట్టుకుని కూర్చోవడం వల్ల శాస్త్ర పురోగతి కొంత మందగించిందని కొందరు నమ్మిన మాట నిజమే. భౌతిక, రసాయన శాస్త్రాల లాగానే, నాడీశాస్త్రం కూడా మనం చూసేది, వినేది, తాకేది, నిర్దిష్టంగా నిర్వచించగలిగేది, సంఖ్యాత్మకంగా వ్యక్తం చెయ్యగలిగేది తప్ప మరిక దేన్నీ ఒప్పుకోనని, అలా చెయ్యలేని విషయాలని పట్టించుకోనని అంటుంది. మరి ఈ బలమైన పునాదుల మీదనే కదా ఆధునిక విజ్ఞానాన్ని భౌతిక శాస్త్ర పితామహుడు గెలీలియో స్థిరంగా నిలిపాడు? ఈ మౌలికమైన నియమాల సత్తా వల్లనే కదా విజ్ఞాన శాస్త్రం గత కొన్ని శతాబ్దాలలో అంత వేగంగా పురోగమించింది? అందుచేత ఆంతరిక విషయాల గురించి శాస్త్రీయంగా చర్చించాలంటే వాటిని మెదడులో జరిగే భౌతిక చర్యల పరంగా వర్ణించగలగాలి. మన మనసులో ఓ ఆలోచన కదిలినప్పుడు, దానికి సంబంధించి మెదడులో న్యూరాన్లలో విద్యుత్ చలనాలు ఎలా జరుగుతాయి? ఏ ఏ మెదడు ప్రాంతాల మధ్య ఎలాంటి రసాయనాల వినియమం జరుగుతుంది? మెదడు నిర్మాణంలో సూక్ష్మంగానైనా ఎలాంటి మార్పులు వస్తాయి? మన మనసులో కదిలే ప్రతీ చలనాన్ని – ముఖ్యంగా ప్రేమ, పగ, కరుణ, ఆవేశం మొదలైన లోతైన విషయాలని - ఈ విధంగా మెదడులో జరిగే భౌతిక చర్యల పరంగా చెప్పడం చాలా చాలా కష్టం. అందుకే ఈ దిశలో ముందే మానవ ప్రవర్తనతోను, మానవ అంతర్యంతోను

మొదలుపెట్టకుండా, తమ అధ్యయనాలని జంతు ప్రవర్తనతో మొదలుపెట్టారు నాడీశాస్త్రవేత్తలు. మనిషి ప్రవర్తన కన్నా జంతువుల ప్రవర్తన మరింత సరళంగా ఉంటుంది కదా?

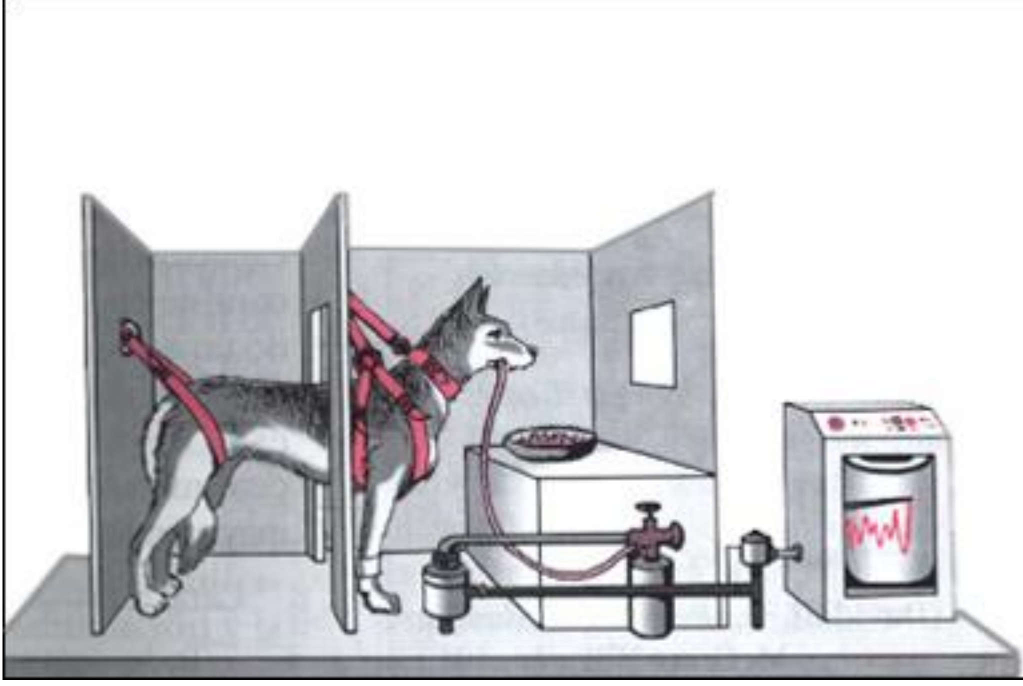
జంతువుల ప్రవర్తన మీద చేసిన ప్రయోగాలు అంటే ముందుగా చెప్పుకోవలసినవి రష్యన్ జీవక్రియా శాస్త్రవేత్త ఇవాన్ పావ్లోవ్ చేసినవి. ఎన్నో ముఖ్యమైన వైజ్ఞానిక ఆవిష్కరణల లాగానే పావ్లోవ్ చేసిన ఆవిష్కరణలు యాదృచ్ఛికంగా జరిగాయి. పందొమ్మిదవ శతాబ్దపు చివరి దశలో పావ్లోవ్ కుక్కల జీర్ణమండలం గురించి తెలుసుకునే ప్రయత్నంలో ఉన్నాడు. జీర్ణక్రియలోని వివిధ దశలని క్షుణ్ణంగా అధ్యయనం చెయ్యాలని అనుకున్నాడు. జీర్ణ ప్రక్రియ నోటిలోనే మొదలవుతుందని మనకి తెలుసు. అసలు ఆహారం నోటిలోనికి ప్రవేశించక ముందు నుంచే నోటిలో లాలాజలం (ఉమ్మి) ఊరుతుంది. మనం నములుతున్న ఆహారంతో ఆ లాలాజలం కలిసినప్పుడు జీర్ణ క్రియలో మొదటి దశ మొదలవుతుంది. కుక్కలకి ఆహారం అందించినప్పుడు వాటిలో ఈ లాలాజలోత్పత్తి (salivation) ఎలా జరుగుతుందో పావ్లోవ్ అధ్యయనం చేస్తున్నాడు. మనుషుల లాగానే కుక్కలకి కూడా రుచికరమైన ఆహారం కళ్ల ముందు కనిపించగానే నూరు ఊరుతుంది. ప్రయోగాలలో పాల్గొంటున్న కుక్కల ముందు ఎండుమాంసపు పొడి ఉన్న పళ్లేన్ని ఉంచగానే కుక్కల నోరు ఊరడం మొదలవుతుంది. ఇది కొత్త విషయమేమీ కాదు.

కాని పావ్లోవ్ ఓ కొత్త విషయాన్ని గమనించాడు. కుక్కలకి రోజు ఆహారం అందించే టెక్నీషియన్ దగ్గరికి రాగానే కుక్కల నోరు ఊరడం చూసి పావ్లోవ్ ఆశ్చర్యపోయాడు. ఆహారాన్ని ఎప్పుడూ ఆ టెక్నీషియనే తీసుకొస్తాడు కనుక అతడు కనిపించగానే ఇక ఏ క్షణానైనా ఆహారం వచ్చే అవకాశం వుందన్న అపేక్షతో కుక్కల నోళ్లు ఊరుతున్నాయా? అలాగైతే ఆహారం యొక్క రాకని సూచించే మరే వస్తువైనా అలాగే కుక్కలలో లాలాజలోత్పత్తి కలుగజేయాలిగా? ఈ ప్రశ్నలకి సమాధానాలు తెలుసుకోడానికి పావ్లోవ్ వరుసగా, క్రమబద్ధంగా కొన్ని ప్రయోగాలు చేశాడు.



ఇవాన్ పావ్లోవ్

ఇలాంటి కొన్ని ప్రయోగాలలో ముందుగా ఒక గంట కొట్టి కాస్త ఆగి అప్పుడు కుక్కకి మాంసాహారం అందించారు. తొలి దశల్లో ఎప్పట్లాగే కుక్కకి ఆహారం అందగానే నోరూరింది. కాని ఆ ప్రయోగం పదే పదే చెయ్యగా కుక్క ప్రవర్తనలో ఓ చిత్రమైన మార్పు కనిపించింది. ఈ సారి గంట వినిపించిన మరుక్షణమే కుక్కకి నోరు ఊరడం కనిపించింది. అంటే గంట శబ్దం ఆహారం రాకని సూచిస్తోందని కుక్క గ్రహించింది అన్నమాట! అందుకు స్పందనగా నోరు ఊరింది. ఇక్కడ కుక్క ప్రవర్తనలో రెండు అంశాలని గుర్తించొచ్చు. ఒకటి 'ప్రేరణ' (stimulus). ఈ సందర్భంలో మాంసాహారం కుక్కకి ప్రేరణ అవుతుంది. రెండవ భావన 'స్పందన.' మాంసాహారం ప్రేరణ అయితే నోరు ఊరడం స్పందన. ఏ ప్రేరణకి ఏ స్పందన కలుగుతుందో తెలుసుకోగలిగితే ప్రవర్తన అర్థమైనట్టు. అంత మేరకు ఆ ప్రవర్తనకి ఆధారభూతమైన నాడీ మండలం గురించి అర్థమైనట్టు. కాబట్టి ప్రవర్తన అంటే ప్రేరణ + స్పందన అనే జంట అని చెప్పుకోవచ్చు.



పావ్లోవ్ ప్రయోగం

పై సందర్భంలో ఆహారం అనే ప్రేరణకి నోరు ఊరడం అనే స్పందన సహజంగా కలిగిన స్పందన. అది ఒకరు నేర్పించింది కాదు. కుక్కలో అది జన్మతః వచ్చింది. అందుకే దాన్ని అనియంత్రిత స్పందన (unconditioned response) అంటారు. అయితే పై ప్రయోగంలో కుక్కలో ఓ కొత్త స్పందన కూడా కలిగేలా చేశారు. మామూలుగా గంట వినిపించినప్పుడు (ఆ శబ్దం ఎంత శ్రావ్యమైనదైనా సరే!) కుక్కలకి నోరు ఊరడం అంటా ఉండదు. కాని పై ప్రయోగంలో గంట శబ్దాన్ని ఆహారంతో జోడించి ప్రవేశపెట్టడం వల్ల కుక్కలో ఆ శబ్దానికి కూడా లాలాజలోత్పత్తి అనే స్పందన కలిగింది. అంటే కుక్కలో స్వతహాగా లేని గంట (ప్రేరణ) + నోరూరడం (స్పందన) అనే కొత్త ప్రవర్తన జనించింది. ఇలా నాడీమండలంలో ఓ కొత్త ప్రవర్తన కలిగేలా చెయ్యడాన్నే 'నియంత్రణ' (conditioning) అంటారు. నాడీమండలం కొత్త విషయాలని ఎలా నేర్చుకుంటుందో తెలుసుకోడానికి పై ప్రయోగం ఓ చక్కని ఉదాహరణ.

పావ్లోవ్ తరువాత అతడి అగుడు జాడల్లో నడిచిన ఎంతో మంది మనస్తత్వ శాస్త్రవేత్తలు ఉన్నారు. వివిధ జంతువుల ప్రవర్తన మీద వాళ్లు విస్తృతంగా అధ్యయనాలు చేశారు. వీరి కృషి వల్ల మనస్తత్వ శాస్త్రంలో 'ప్రవర్తనా వాదం' (behaviorism) అనే ఓ కొత్త అధ్యాయం తెరుచుకుంది. వీరి వాదనలో సారాంశం ఇలా ఉంటుంది. ఒక మనిషిది గాని, జంతువుది గాని 'మనస్తత్వాన్ని' అర్థం చేసుకోవాలంటే అసలు ముందు 'మనసు' అంటే ఏంటో తెలుసుకోవాలి. కాని ఆ మనసు అనేది చూపుకి, చేతికి ఆనదు. కనుక దాని మీద శాస్త్ర పరిశోధనలు చెయ్యలేం. పోనీ మనసుకి ప్రతినిధిగా మెదడు మీద చేద్దామా అంటే అప్పటికి (ఇది సుమారు నూరేళ్ల క్రితం నాటి మాట) మెదడు గురించి అవగాహన ఇంకా చాలా అవసాన దశలో ఉండేది. వాస్తవం కన్నా విశృంఖల ఊహాగానమే అతిగా చలామణిలో ఉండేది. మరి తల లోపల దాగి వుండే మెదడులో ఏం జరుగుతోందో మనకి పెద్దగా తెలీదు కాబట్టి, బయటికి కనిపించే ప్రవర్తన పరంగానే మనం చెప్పదలచుకున్నది మొత్తం చెప్పగలగాలి. ప్రవర్తనలో కనిపించిని అనవసర విషయాల ప్రస్తావన శాస్త్ర చర్చలో ఎక్కడా రాకూడదు. ఈ ప్రవర్తనా వాదులు అక్కడితో ఆగితో బావుణ్ణు. ఆ ప్రవర్తన మీద కూడా కొన్ని నియమాలు విధించారు. కచ్చితంగా కొలిచి, సంఖ్యాత్మకంగా కొలవగలిగేది మాత్రమే ప్రవర్తన. "ఈ రోజు ఎందుకో మా బాస్ నా పట్ల అదోలా ప్రవర్తించాడు," అనేసి ఊరుకుంటే ప్రవర్తనా వాదులు ఒప్పుకోరు మరి. ఆ 'అదోలా' అన్న పదాన్ని సంఖ్యలతో వ్యక్తం చేసినప్పుడే ("ఎంత అదోలా?!!!") అది శాస్త్రం పరిధిలోకి వస్తుంది.

కంటికి కనిపించే రాశులతోనే వ్యవహరించాలి అని ఒకసారి ఒట్టుపెట్టుకున్నాక ఇక ఆలోచనలు, తలంపులు, తపనలు, ఊహలు, తెలివితేటలు మొదలైన పరిభాషని గట్టు మీద పెట్టేయక తప్పదు. మెదణ్ణి ఒక "చీకటి పెట్టె" (black box) గా పరిగణించడం మొదలయ్యింది. ఆ చీకటి పెట్టెలోకి బయట ప్రపంచం నుండి ప్రేరణలు, ఇంద్రియాల ద్వార ప్రవేశిస్తాయి. ఇంద్రియాలు అందించే సమాచారం ఆ పెట్టెలో ఏమవుతుందో తెలీదు, ఎలాంటి మార్పులకి గురి అవుతుందో తెలియదు. ఆ పెట్టెలోంచి వెలువడేవే స్పందనలు. శబ్దాన్ని ప్రేరణగా ఒప్పుకోవచ్చు ఎందుకంటే శబ్దాన్ని 'డెసిబెల్స్' అనే యూనిట్ తో కొలవచ్చు. అలాగే 'లాలాజలోత్పత్తి' ని స్పందనగా ఒప్పుకోవచ్చు ఎందుకంటే దాన్ని 'మిల్లీలీటర్ల'తో కొలవచ్చు. ఆ విధంగా విరగబడి ప్రవర్తనా వాదులు ప్రవర్తన ద్వార పరోక్షంగా నాడీ మండలం యొక్క అధ్యయనాలని చేపట్టారు. ఈ రంగంలో ప్రముఖులు, పురోగాములు అని చెప్పుకోదగ్గ వారు – బి.ఎఫ్. స్కిన్నర్, ఎడ్వర్డ్ థార్న్‌డైక్, జాన్ వాట్సన్ మొదలగువారు.

ప్రవర్తనా వాదులే కాస్త విడ్డూరం మనుషులు అనుకుంటే వారిలో మరీ విపరీతపు ధోరణి గల వాడు బి.ఎఫ్. స్కిన్నర్. ఇతడు అనుసరించిన ప్రవర్తనావాదానికి 'విపరీతపు ప్రవర్తనావాదం' (radical behaviorism) అని పేరు కూడా వచ్చింది. ప్రేరణ-స్పందన అనే జంటల పరంగా ప్రవర్తనకి కచ్చితంగా వర్ణిస్తూ ఆ ప్రవర్తన కొన్ని పరిస్థితుల్లో క్రమంగా ఎలా వికాసం చెందుతుందో వర్ణిస్తూ వచ్చాడు స్కిన్నర్.

ప్రవర్తనావాదులలో మరో ప్రముఖుడు థార్న్‌డైక్. ఇతడు కూడా తన పరిశోధనల్లో శుద్ధ వాస్తవికతకే అద్దం పడుతూ ఆత్మాశ్రయమైన, మనోసంబంధమైన పరిభాషని పూర్తిగా త్రోసిపుచ్చుతూ వచ్చాడు. జంతువుల ప్రవర్తనని వర్ణించే ప్రయత్నంలో 'తెలివితేటలు', 'లోదృష్టి' మొదలైన పదాలు వాడినప్పుడు వినటానికి బానేవుంటాయి గాని వాటికి పెద్దగా వైజ్ఞానిక సారం లేదు. ఆ రోజుల్లో జంతు మనస్తత్వం మీద వచ్చే పుస్తకాల మీద దుమ్మెత్తి పోస్తూ, "ఆ పుస్తకాలు మనకి నేర్పేది మనస్తత్వ శాస్త్రం కాదు, మనస్తత్వ స్తోత్రం! జంతువుల తెలివితేటలని అదే పనిగా పొగుడుతుంటారు గాని, వాటి తెలివితక్కువతనం గురించి ఎక్కడా ఎందుకు ప్రస్తావించరో?" అని చురక వేశాడు.

థార్న్‌డైక్ జంతువుల ప్రవర్తన మీద, అవి నేర్చుకునే విధానాల మీద లెక్కలేనన్ని ప్రయోగాలు చేసి ఆ ప్రయోగాల సారాంశంగా మూడు మౌలిక నియమాలని సూత్రీకరించాడు.

1. పర్యవసానపు నియమం (Law of Effect): బాహ్య ప్రపంచం నుండి వచ్చే ఒక ప్రేరణకి ఒక జంతువు ఒక ప్రత్యేక రీతిలో మళ్లీ మళ్లీ స్పందించాలంటే ఆ స్పందనకి పర్యవసానం హితమైనదా, అహితమైనదా అన్నదాని మీద ఆధారపడుతుంది. జంతువు యొక్క స్పందనకి, లేదా చర్యకి సత్ఫలితం కలిగితే ఆ జంతువు తదుపరి సారి అదే విధంగా స్పందించే అవకాశం వుంది. అలా కాకుండా దుష్ఫలితం కలిగితే స్పందన మారిపోయే అవకాశం ఎక్కువ.
2. ఇటీవలత్వపు నియమం (Law of Recency): ఇటీవలి కాలంలో ప్రదర్శించబడ్డ స్పందనే మళ్లీ కనిపించే అవకాశం ఎక్కువగా ఉంటుంది.
3. అభ్యాస నియమం (Law of Exercise): ఒక ప్రేరణ-స్పందన జంట పదే పదే ప్రదర్శించబడితే ఆ జంట మధ్య బంధం మరింత బలపడే అవకాశం ఎక్కువ.

థార్న్‌డైక్ పరిశోధనల వల్ల ప్రేరణకి స్పందనకి మధ్య బంధం ఎలా మారుతుంది అన్న విషయం మీద అవగాహన పెరిగింది. ఉదాహరణకి ఒక ప్రయోగంలో ఒక జంతువు దానికి ఎదురుగా కనిపిస్తున్న పచ్చ, ఎరుపు మీటల్లో పచ్చ మీట నొక్కుతుంది. అందుకు ఫలితంగా ప్రయోగం చేసే వ్యక్తి దానికి బహుమానంగా (reward) ఓ మాంసం ముక్క అందిస్తాడు. ఈ సారి మళ్లీ ఆ రెండు మీటల మధ్య ఎంచుకోవలసి వస్తే ఆ జంతువు పచ్చ మీట నొక్కే ఆస్కారమే ఎక్కువ. పోనీ ఈ సారి ఎర్ర మీట నొక్కింది అనుకుందాం. అప్పుడు ప్రయోగం చేసే వ్యక్తి దానికి శిక్షగా (punishment) చిన్న విద్యుత్ షాక్ ఇస్తాడు. ఈ సారి పచ్చ, ఎరుపు మీటలు కనిపించినప్పుడు ఎర్ర మీట జోలికి ససేమిరా పోదు. జంతువు ఒక స్పందన చూపించినప్పుడు ఆహారం మొదలైన బహుమతులు ఇచ్చి దాని స్పందనని మరింత పోషించడాన్ని 'పునరుద్దీపనం' (reinforcement) అంటారు.

ప్రవర్తన మొత్తాన్ని ప్రేరణ – స్పందన అనే జంటల స్థాయికి కుదించే పద్ధతి జంతు మనస్తత్వ శాస్త్రానికి (animal psychology) పునాది అయ్యింది. అయితే అలాంటి పద్ధతులని మానవ ప్రవర్తనకి విస్తరింపజేసే ప్రయత్నాలు మొదట్లో అంతగా పొసగలేదనే చెప్పాలి. అయితే ఇరవయ్యవ శతాబ్దపు రెండవ భాగంలో నాడీ శాస్త్రంలో గణనీయమైన పురోగతి జరిగింది. దాని ఫలితంగా థార్న్‌డైక్ తదితరులు అధ్యయనం చేసిన ప్రేరణ-స్పందనల మధ్య బంధాలకి, మెదడులో నాడీ తీగలు స్థూలమైన మూర్తిరూపాలుగా కనిపించాయి. ఒక ప్రాణిలో ప్రేరణకి స్పందనకి మధ్య లంకె బలపడింది అంటే మెదడులో ఆ సంబంధానికి చెందిన తీగలలో ఏదో భౌతికమైన మార్పు జరుగుతోందని నాడీశాస్త్రవేత్తలు గుర్తించారు.

న్యూరాన్ల మధ్య సంభాషణలు 'సైనాప్స్' అనే అనే సంధి ద్వార జరుగుతాయని అంతకు ముందు అనుకున్నాం. ప్రవర్తనావాదులు అధ్యయనం చేసిన ప్రేరణ-స్పందన జంటల మధ్య బంధానికి ఈ సైనాప్స్ మూర్తిరూపం అని నాడీ శాస్త్రవేత్తలు తదనంతరం గుర్తించారు. ప్రాణి ఓ కొత్త ప్రేరణ-స్పందన ప్రవర్తనని నేర్చుకుంది అంటే దాని మెదడులోని సైనాప్స్ లలో ఎక్కడో తదనుగుణమైన మార్పులు వచ్చాయన్నమాట. అందుకే "సైనాప్స్ లలో వచ్చే మార్పులు 'నేర్చుకోవడానికి' (learning) మూర్తిరూపాలు" అని ఆధునిక నాడీశాస్త్రవేత్తలు నమ్ముతున్నారు. మనం ఓ పాట నేర్చుకున్నా, పాఠం నేర్చుకున్నా ఆ నేర్చుకున్న విషయం మెదడులో ఎక్కడో సైనాప్స్ లలో వచ్చిన మార్పుల రూపంలో స్థిరపడుతుంది. ఈ సూత్రం జంతువులలోనే కాక, మనుషుల మెదడులో కూడా వర్తిస్తుందని నాడీశాస్త్రవేత్తలు గుర్తించారు. మనం నేర్చుకున్నవి, జ్ఞాపకం పెట్టుకున్నవి అన్నీ మెదడులో సైనాప్స్ లలో నిక్షిప్తమై వున్నాయన్న భావనే ఆధునిక నాడీశాస్త్రానికి మూలస్తంభంగా నిలిచింది.

ఉపసంహారం

ఈ చిట్టి పుస్తకంలో మెదడు గురించి అనాదిగా చలామణి అవుతూ వస్తున్న భావాల చరిత్ర చెప్పుకున్నాం. మొదట్లో అపోహగా, అభూతకల్పనగా మొదలైన భావాలు, శాస్త్ర అధ్యయనాల ప్రభావం వల్ల క్రమంగా నిగ్గుదేలి ఆధునిక నాడీశాస్త్రానికి పునాదిరాళ్లని చెప్పుకోదగ్గ సత్యాలుగా వికాసం చెందాయి. కొన్ని అపోహలు కొన్ని సహస్రాబ్దాలు రాజ్యం చేసి కేవలం ఆధునిక యుగారంభంలోనే సవరణకి నోచుకున్నాయి. మెదడు యొక్క నిర్మాణం గురించి మొదటి నుండీ కూడా అంతో ఇంతో సముచితమైన అవగాహనే వుంది. మెదడులోని గోళార్థాలకి, వెంట్రికిల్స్ కి, వివిధ నాడులకి సంబంధించిన పరిజ్ఞానం ఎన్నో శతాబ్దాలుగా వుంది. కాని మెదడులో క్రియల గురించే చాలా కాలంగా ఎన్నో తప్పుడు భావాలు చలామణి అవుతూ వచ్చాయి. శారీరంలో కదలికలకి కారణం ఏవో అదృశ్య “ప్రాణ శక్తులు” అనే భావన ఆ కోవకి చెందినదే.

అలాగే ఆధునిక నాడీ శాస్త్రం అనే మహానదిని పోషించిన ఉపనదుల గురించి చెప్పుకున్నాం. శరీర నిర్మాణ శాస్త్రం, ఔషధ శాస్త్రం, జీవక్రియా శాస్త్రం, మనస్తత్వ శాస్త్రం – ఇలా ఒక్కొక్క రంగంలో పురోగతి జరుగుతున్న కొద్ది మెదడు గురించిన అవగాహన కూడా కాలానుగుణంగా మెరుగు పడుతూ వచ్చింది. ఆ వికాస క్రమానికి అంతంలో, ఈ ఇరవయ్యొకటవ శతాబ్దంలో, మెదడు గురించిన ఆ అద్భుత శాస్త్రదర్శనం మనకి లభ్యమవుతోంది.

మెదడు గురించిన సమకాలీన దృక్పథాన్ని ఈ రెండు సూత్రాలకి కుదించవచ్చేమో.

1. అన్నిటి కన్నా ముఖ్యంగా మెదడు ఒక జాలం (network) అని గుర్తుంచుకోవాలి. కోటానుకోట్ల నూరాన్ల జాలం అది. అందులో కొన్ని కొన్ని ప్రాంతాలలో న్యూరాన్లు రాశులుగా ఏర్పడి వుంటాయి. ఒక్కొక్క ప్రాంతంలో ఒక్కొక్క ప్రత్యేకమైన క్రియ జరుగుతుంది. కాని ‘మాట్లాడడం’ లాంటి సంక్లిష్టమైన క్రియని తీసుకుంటే దాన్ని మెదడులో ఎన్నో ప్రాంతాలు కలిసికట్టుగా పని చేస్తూ ఆ క్రియని

సాధిస్తాయి. మెదడులో ఇలా పలు విభాగాలు ఏకకాలంలో పని చేస్తూ ఒక లక్ష్యాన్ని సాధించడాన్ని parallel and distributed processing (ఏకకాలీన, విస్తృత ప్రవర్తనం) అనే పదజాలంతో వర్ణిస్తారు. (ఇలాంటి భావజాలాన్ని మొట్టమొదట మనకి అందించినవాడు కార్ల్ పెర్నికీ. ఆ భావజాలమే కొద్దిపాటి సవరణలతో ఇప్పటికీ ఆధునిక నాడీశాస్త్రంలో ఉపయోగపడుతోంది.)

2. మెదడు అత్యంత సంక్లిష్టమైన, నిరంతర మార్పుకి లోనయ్యే జాలం. మెదడులో సుమారు నూరు బిలియన్ల న్యూరాన్లు ఉంటాయి. ఒక్కొక్క న్యూరాన్ కి సుమారు 1000 నుండి 10,000 ఇతర న్యూరాన్లతో సైనాప్స్ ల రూపంలో సంబంధాలు ఉంటాయి. ఇంత సంక్లిష్టమైన జాలానికి పోలిక మొత్తం మానవ లోకంలో మరే ఇతర వస్తువూ లేదేమో. అంత సంక్లిష్టమైన జాలంలో నిరంతరం మార్పు జరుగుతూ ఉంటుంది. స్థూలస్థాయిలో నానాటికి పెద్దగా మార్పు కనిపించకపోవచ్చు. కాని సూక్ష్మ స్థాయిలో, న్యూరాన్ల, సైనాప్స్ ల స్థాయిలో క్షణక్షణం మార్పులు జరుగుతుంటాయి.

కాబట్టి సంక్లిష్టత (complexity), మారుదల (changeability) ముఖ్య లక్షణాలుగా గల జాలం మెదడు. ఈ లక్షణాల వల్లనే అత్యంత సంక్లిష్టమైన, నిరంతర మార్పును ప్రదర్శించే బాహ్య ప్రపంచంతో సమర్థవంతంగా వ్యవహరిస్తూ, మానవ శరీరాన్ని, మానవ జీవితాన్ని శాసించగల అధినేతగా అద్భుతంగా రాజిల్లుతోంది.